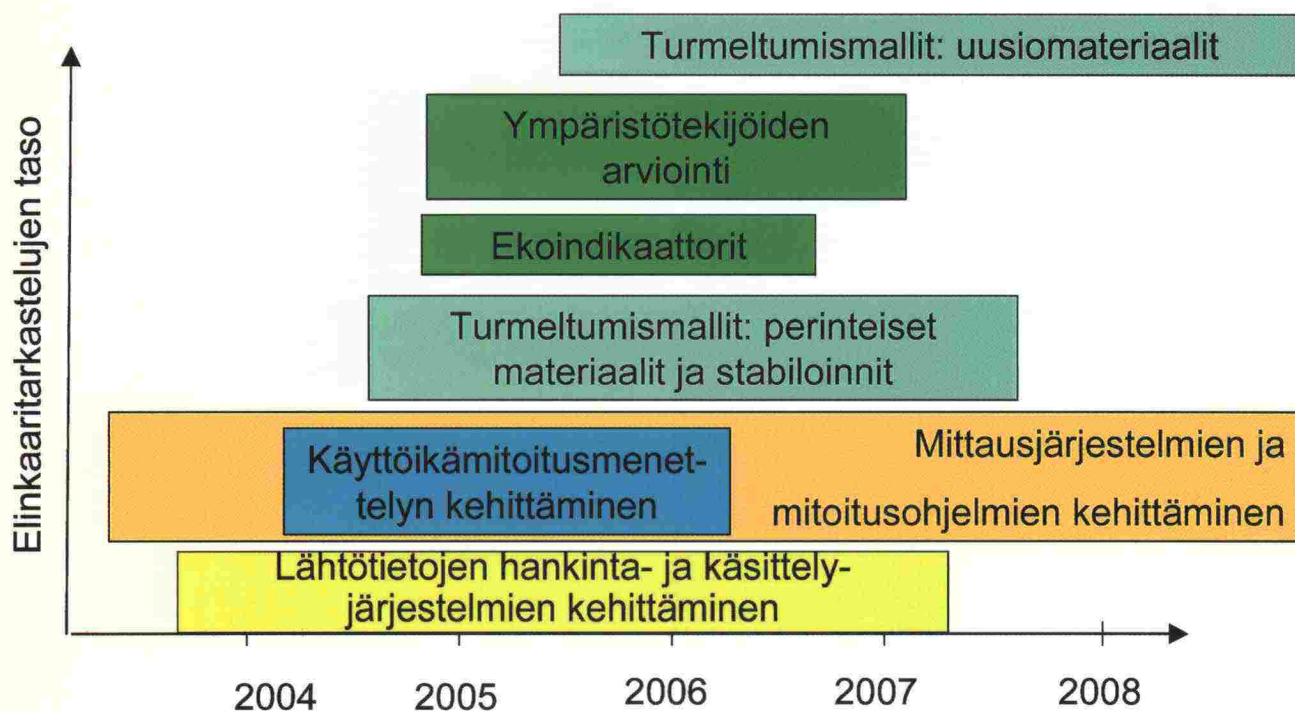


Leena Korkiala-Tanttu, Jouko Törnqvist, Paula Eskola,
Markku Pienimäki, Harri Spoof ja Ulla-Maija Mroueh

Elinkaaritarkastelut tienpidon hankintoihin

Kokemuksia kahdesta pilot -kohteesta

Tiehallinnon selvityksiä 13/2005



Leena Korkiala-Tanttu, Jouko Törnqvist, Paula Eskola,
Markku Pienimäki, Harri Spoof ja Ulla-Maija Mroueh

Elinkaaritarkastelut tienpidon hankintoihin

Kokemuksia kahdesta pilot -kohteesta

Tiehallinnon selvityksiä 13/2005

ISSN 1457-9871
ISBN 951-803-463-X
TIEH 3200925

Verkkojulkaisu pdf (www.tiehallinto.fi/julkaisut)
ISSN 1459-1553
ISBN 951-803-464-8
TIEH 3200925-v

Edita Prima Oy
Helsinki 2005

Julkaisua myy/saatavana:
asiakaspalvelu.prima@edita.fi
Faksi 020 450 2470
Puhelin 020 450 011



TIEHALLINTO
Asiantuntijapalvelut
Opastinsilta 12 A
PL 33
00521 HELSINKI
Puhelinvaihte 0204 22 11

Leena Korkiala-Tanttu, Jouko Törnqvist, Paula Eskola, Markku Pienimäki, Harri Spooft ja Ulla-Maija Mroueh: **Elinkaaritarkastelut tienpidon hankintoihin: - kokemuksia kahdesta pilot -kohteesta.** Helsinki 2005. Tiehallinto, Asiantuntijapalvelut. Tiehallinnon selvityksiä 13/2005. 44 s. + liitt. 17 s. ISSN 1457-9871, ISBN 951-803-463-X, TIEH 3200925.

Asiasanat: elinkaari, hankinta, ympäristövaikutusten arviointi, tasaisuus, rakenteen parantaminen
Aiheluokka: 05, 33

TIIVISTELMÄ

Vuoden 2004 lopussa päättynyt 'Elinkaaritarkastelut tienpidon hankintoihin' oli kaksivuotinen tutkimushanke, jonka tavoitteena oli kahden pilot -urakan kautta **luoda edellytyksiä elinkaariajattelun käyttöönottoon tienpidon hankinnoissa.** Toisena tavoitteena oli **tunnistaa elinkaarilaadun kannalta kehittämistä ja tarkempaa selvittämistä edellyttävät teemat.** Tutkimus oli osa Tekesin INFRA - teknologiaohjelmaa ja käytännön tutkimustyöstä vastasi VTT. Tutkimuksessa laadittiin yhdessä Tiehallinnon kanssa pilot -urakoiden kilpailuosioiden **toiminnalliset, tekniset ja ympäristövaatimukset, määritettiin näiden vaatimusten painoarvot urakkatarjousten arvioinnissa sekä käytettävät laskenta- ja arviointimenettelyt.**

Tavoiteltaessa kestävä kehityksen mukaista infrarakentamista käytännön työkaluina ovat elinkaaritarkastelut. Tämä tutkimuksen taustalla on ollut "Infra-alan elinkaaritarkastelut" esiselvityksen ajatus elinkaariajattelun viemisestä kentälle ja aiemmin kehitettyjen menetelmien käyttöön otosta. Tutkimuksessa kehitettävälle elinkaaritarkasteluille haluttiin saada koko infrarakentamisalan tuki. Siksi tutkimukselle valittiin mahdollisimman laaja-alainen ja alan eri osapuolien intressejä heijastava johtoryhmä. Molemmista pilot -urakoista järjestettiin tiedotustilaisuudet ennen tarjousten laskentaa. Lisäksi urakoitsijan valinnan jälkeen haastateltiin kaikkia tarjouspyyntöjen ja tarjousten valmisteluun osallistuneita. Vaikka tutkimus suunnattiin Tiehallinnolle, tuloksia voivat hyödyntää Tiehallinnon lisäksi myös muut alan rakennuttajat, urakoitsijat, suunnittelijat ja viranomaiset.

Ensimmäisenä toteutettu pilot -kohde oli Hämeen tiepiirissä sijaitsevan maantien 307 parantaminen välillä Valkeakoski - Tykölä. Kohteen tarjoukset arviointiin vuonna 2003. Toinen pilot -kohde oli valtatie 9 parantaminen välillä Turku - Liedon asema. Tarjouspyynnöt valmisteltiin ja tarjoukset arvioitiin vuonna 2004. Molemmat pilot -urakat olivat ns. ST -hankkeita (Suunnittele ja Toteuta), joiden urakkaan sisältyi rakennussuunnittelu ja rakentaminen, muttei ylläpito. Takuuaika molemmissa kohteissa oli viisi vuotta.

Tutkimuksen aluksi selvittiin, millaisia tarjousten vertailutapoja ja tarjouspyyntöasiakirjoja ST -urakoissa oli jo ollut käytössä. Näiden pohjalta lähdettiin kehittämään uusia tarjousten vertailutapoja, jossa myös elinkaaritarkastelut ovat mukana. Tarjousten vertailussa keskityttiin teiden päälly- ja pohjarakenteiden ominaisuuksien tarkasteluun. Tarjouslaskennassa edellytettiin työkaluja, joita urakoitsijat tai heidän konsulttinsa eivät olleet aiemmin yleisesti käyttäneet. Työkaluiksi valittiin rakenteiden mitoitushjelma APAS, rakentamisen ympäristövaikutusarviointi-ohjelma Meli sekä jatkuvan painuman laskentaohjelma TSARPIX.

Valkeakosken kohteessa (Mt307) päädyttiin hintapohjaiseen tarjousten vertailusysteemiin, joka muistutti nykyisiä ST -urakoissa sovellettuja malleja. Vertailussa olivat mukana uusina tekijöinä rakentamisen ympäristövaikutukset ja liikenteen haittakustannukset. Myös tarjouspyyntöjen laatuosiota kehitettiin kuvaamaan paremmin rakenteiden elinkaariaatua.

Toisessa kohteessa (VT 9) tavoitteena oli päästä ensimmäistä kohdetta laajempiin elinkaaritarkasteluihin. Siksi päädyttiin kiinteähintaiseen, muuttuvaisältöiseen urakkamuotoon, ns. ranskalaiseen urakkaan. Tavoitteena oli valita urakoitsija parhaan suunnitelmissa osoitetun elinkaarilaadun perusteella suosimalla pitkäikäisiä, laadultaan tasaisia ratkaisuja. Tarjousten vertailumenetelmäksi kehitettiin laatuominaisuuksia mittaava monimuuttuja-analyytiin pohjautuva menettely.

Kokemukset Vt9:n tarjousten vertailussa käytetystä monimuuttuja-analyy-sista olivat pääosin positiivisia. Jotkut tarjoajat kokivat ongelmaksi hinnan puuttumisen arvioinnista. Haastattelujen mukaan menettelyjen kehitysvauhtiin suhtauduttiin ristiriitaisesti; toisaalta uusien menettelyiden käyttöönoton vauhti todettiin liian hitaaksi, toisaalta osa suunnittelijoista koki, ettei nykyistä vauhtia saisi ainakaan kasvattaa. Jatkuvien mitoitusmenettelyjen, kuten TSARPIX - ohjelman, käyttö koettiin positiivisena.

Tutkimuksessa havaittiin, että elinkaaritarkasteluja voidaan tehdä jo tänä päivänä ainakin eräiden osatekijöiden suhteen. Rakentamisesta liikenteelle aiheutuvaa haittaa voidaan arvioida esimerkiksi kaistanvuokrausperiaatteen mukaisesti. Niin ikään rakentamisesta aiheutuvia ympäristövaikutuksia voidaan arvioida. Tutkimuksen aikana nousi kuitenkin esiin useita tarkasteluja rajoittavia tekijöitä ja arvostuskysymyksiä. Yksi merkittävimmistä elinkaaritarkastelujen luotettavuuteen vaikuttavista tekijöistä on riittävien lähtötietojen puute tai niiden heikko laatu.

Elinkaaritarkasteluja voidaan ja tulee soveltaa kaikissa rakentamisprosessin vaiheissa, ei ainoastaan rakentamisen tarjousten vertailussa. Tutkimuksen lyhyestä kestosta johtuen painopiste oli tarjousten elinkaariperusteisessa arviointimenettelyjen kehittämisessä, eli käytännön toteutuksen ja rakenteiden toimivuuden elinkaaritarkasteluihin ei voitu panostaa.

Tutkimuksen mukaan kiireellisimmät elinkaaritarkastelujen lisätutkimusta vaativat tekijät ovat:

- käyttöikämitoitus ja turmeltumismallit
- yhtenäisen arviointikehikon luonti
- ekoindikaattorijärjestelmä ja sen työkalut.

Mitoitusmenetelmien kehittyminen on edellytys rakenteiden käyttöiän arvioinnille. Käyttöikäperusteinen mitoitus vaatii tuekseen luotettavia turmeltumismalleja ja mitoitusohjelmia. Osa mitoituksen kehittämistä on myös mitoitusmenetelmien kehittäminen vastaamaan paremmin kehitettäviä toimivuusvaatimuksia. Tavoitteena on pidettävä, että elinkaaritarkastelujen ja tuotehyväksyntämenettelyjen avulla voidaan helpottaa innovatiivisten rakenteiden tai tuotteiden käyttöönottoa.

Elinkaaritarkastelujen perusongelma on, kuinka toimivuus, laatu ja ympäristövaikutus voidaan ilmaista yhteismitallisesti, esimerkiksi rahassa. Eli kuinka saattaa "erilaatuiset" osatekijät keskenään vertailukelpoisiksi. Tämä muutos voidaan tehdä esim. painottamalla laatu-, toimivuus- ja ympäristötekijät suhteelliseksi kustannuksiksi tai pisteyttämällä tekijät mukaan lukien hinnan ja vertailemalla niitä moni tavoitteisella arvioinnilla.

Suomessa tehtyjen ympäristövaikutusten arviointikokeilujen lisäksi tarvitaan yhteiskunnan yhteistä arvokehikkoa ympäristövaikutuksille. Tähän tarpeeseen on kehitteillä ekoindikaattorijärjestelmä ja sitä täydentävät työkalut. Vastaavaa järjestelmää kaivattaisiin myös toimivuuden ei-tekni- s- ominaisuuksien ja rakentamisen toteutuksen arviointiin. Elinkaaritarkasteluja sovellettaessa on tärkeää hallita elinkaarilaadun kokonaisuus, jotta vältetään osittaisten tarkastelujen mahdollisilta harhaan johtavilta tuloksilta.

Keywords: Life cycle, procurement, environmental impact, evenness, rehabilitation

SUMMARY

VTT (the Technical Research Centre of Finland) and Finnra (the Finnish Road Administration) have together developed a method for implementing life cycle studies to pavement procurement methods. This implementation was done through two in-situ pilot projects. This research lasted for nearly two years and concluded in the beginning of 2005. The objective of the research was to create preconditions for implementation of a life cycle approach to pavement procurement. The other objective was to recognise the most important issues for life cycle analysis that need more research and development. The research was part of the Tekes's (the National Technology Agency of Finland's) Infra programme. VTT and Finnra together compiled the functional, technical and environmental requirements used in invitations for tenders in the pilot projects. The weightings of requirements, design methods and the ground of judgement in the evaluation of tenders have also been created.

The 'Life cycle studies in infra sector' -project presented ideas about implementation of life cycle studies in practical procurement. The implementation was made in co-operation with Finnra and the practitioners in the field of pavement maintenance and construction. The co-operation was secured through the Management Committee of the research project where the consultants, contractors and material deliverers had their representatives. Public discussion and information occasions were also arranged. The research was primarily aimed at Finnra's work but the results were transparent so that they could be applied by other parties.

Two pavement maintenance works were chosen as pilot projects. The first one was improvement of Road 307 between the towns of Valkeakoski and Tykölä in the year 2003. The second pilot project was the improvement of the Highway 9 between the towns of Turku and Lieto in 2004. Both pilots were so-called "Design and Build" projects, which included both the design and construction work.

The research started by defining the accustomed methods to compare tenders and the contents of the orders of tenders in the Design and Build procurement. Based on this information, new innovative comparing methods were developed, which also included life cycle studies. The life cycle studies were implemented through new tools, which were unfamiliar to the contractors and their designers. Thus, a short education course was arranged for the contractors and their consultants about the use of the tools. The used tools were the pavement design program APAS, the environmental impact calculation program Meli and the continuous settlement calculation program Tsarpix.

In the development of the new comparing methods and requirements, the aim was to include as many life cycle aspects as possible. Both pilot projects had narrow financial limits, which was taken into account in the development. However, the new methods had to allow clear calculations and evaluations for comparison.

The design life of the pavements in both pilots was chosen to be 20 years and the duration of the guarantee period was five years. A modified version of the accustomed comparison method was applied in the first pilot project (Road 307). The developed method was focused on the environmental impact calculations, service life-based pavement design and extra user delay costs. The quality and technical requirements of the pavement structure were amended to better describe the life cycle aspects.

The objective of the second pilot project was to have wider life studies than in the first pilot. To simplify the comparison of the different factors, the price of the project was fixed. So, the tenders were compared to each other on the bases of the scope and quality of the tendered pavements. The comparison method was developed to promote constructions that were evaluated to present the best life cycle quality. The constructions were evaluated on the quality of the pavement, its lifetime and evenness. The subgrade of the second pilot was merely thick clay. Thus, after the construction over forty years ago the pavement has suffered from large settlements, unevenness in the longitudinal direction and flattening of the cross-section. The aim of the pavement rehabilitation was to correct all unevenness and to prevent it in the future. The new evenness evaluation method was developed to promote solutions with many little actions instead of concentrated wider ones. This meant that changes in the vertical geometry of the pavement were also calculated as actions.

The comparison of the tenders in the second pilot was done with a multivariate analysis. The interviews afterwards showed that the experiments of this comparison method were mainly positive. Yet, some thought that the price exclusion was a problem. The progression speed of the development as experienced by tenders was sometimes reported as either too quick or too slow. A very positive attitude was found towards continuous design methods like Tsarpix.

The research proved that some parts of the life cycle studies can already be applied today. These factors are extra user delay costs and environmental impacts of construction work. The research raised many factors that limit studies and their reliability. The most important limiting factor is the quality and deficiency of the site investigation data. The life cycle studies need more input data and know-how from all partners of the construction and design than accustomed procurement.

According to the research the most urgent research issues are:

- development of the service life-based design, including deterioration models
- development of an ecoindicator system and its tools
- development of the coherent evaluation methods

The basic problem with life cycle studies is how to merge different units of the components, like money, environmental impacts and performance. The alteration can be done by changing all components to prices or to a defined point system.

The life cycle studies can and should be implemented in all phases of the construction process, not only for the comparison of tenders. The advantages of the life cycle studies are felt by the whole society with better balance of the investment costs and improved environmental quality.

ESIPUHE

Vuoden 2003 alussa käynnistettiin Tiehallinnon johdolla 'Elinkaaritarkastelut tienpidon hankintoihin' tutkimus. Tutkimus oli osa Tekesin INFRA - teknologiaohjelmaa ja käytännön tutkimustyöstä vastasi VTT. Tutkimusta rahoittivat TEKES, Tiehallinto sekä VTT.

Oleellinen osa projektia oli vuoropuhelu alan kanssa. Projektin aikana vuoropuhelun pääelin on ollut tutkimuksen johtoryhmä. Johtoryhmään kuuluivat:

Tapani Karonen, pj.,	Suomen Maanrakentajien Keskusliitto ry (SML)
Jari Niskanen,	Suomen Konsulttitoimistojen Liitto ry. (SKOL)
Reijo S. Lehtinen,	Rakennusteollisuus ry (RT)
Heikki Jämsä,	Asfalttiliitto ry (ASLI)
Hannu Utti,	Tiehallinto
Tom Warras,	TEKES
Harto Rätty, I	nfra -teknologiaohjelman koordinaattori
Matti Lahti,	Tiehallinto, Hämeen piiri
Matti Vehviläinen,	Tiehallinto, Turun piiri
Leena Korkiala-Tanttu,	VTT, sihteeri

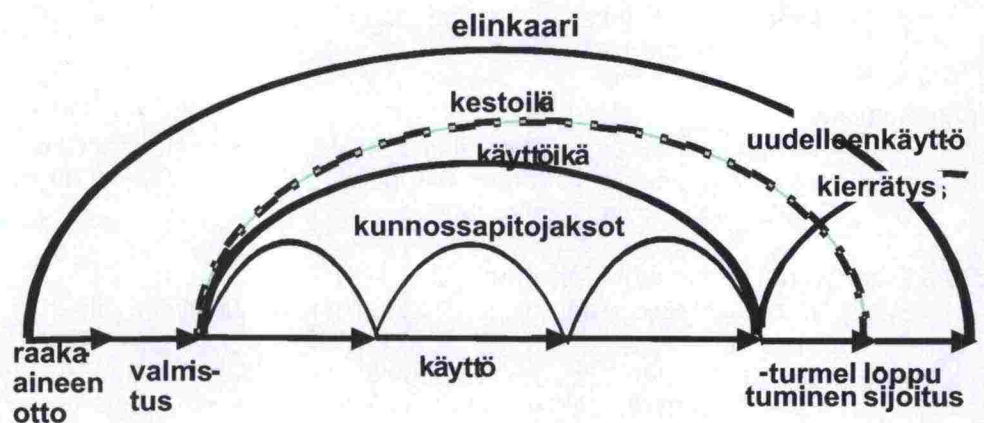
Projektin tutkimusryhmään ovat kuuluneet seuraavat VTT:n tutkijat: Leena Korkiala-Tanttu, Jouko Törnqvist, Paula Eskola, Ulla-Maija Mroueh, Markku Pienimäki, Harri Spoof, Harri Kivikoski ja Rainer Laaksonen. Yhteyshenkilönä Tiehallinnossa toimi Sami Petäjä. Lisäksi Valkeakosken kohteen valmisteluun osallistuivat Kari Kuntsi ja Pekka Järvinen Hämeen tiepiiristä ja Turku-Lieto -kohteen osalta Timo Bäcklund Turun tiepiiristä sekä Jaakko Heikkilä Arcus Oy:stä.

Projektin tiedottaminen on ollut laajempaa kuin tavanomaisissa tutkimusprojekteissa. Pilot -kohteita ja niiden valintaperusteita on keskustelutilaisuuksien lisäksi esitelty useissa alan tilaisuuksissa sekä lehdissä esimerkiksi Väylät & Liikenne-päivillä 2004.

Helsingissä tammikuussa 2005

KÄYTETYT TERMIT

ST -urakka	Suunnittele ja Toteuta -urakka; urakkamuoto, joka sisältää sekä suunnittelun että rakentamisen
Ranskalainen urakka	kiinteähintainen, muuttuvasisältöinen urakka
Meli	maarakentamisen elinkaariarviointiohjelma
APAS	tierakenteiden analyttinen mitoitusohjelma, joka perustuu monikerrosteoriaan
TSARPIX	tierakenteiden painumalaskentaohjelma, jolla painuman suuruutta voidaan arvioida pituus- tai poikkisuuntaan esimerkiksi metrin välein eri ajankohtina. Perustuu jatkuvaan vesipitoisuustietoon maapohjasta.



Kuva 1. Elinkaaren liittyviä yleisiä määritelmiä.

Käyttöikä	tuotteen ikä, jonka aikana se täyttää tuotteelle asetetut vaatimukset
Kestoiä	tuotteen ikä, jonka aikana tuotetta voidaan käyttää. Kestoiän loppuvaiheessa se ei enää täytä tuotteelle asetettuja teknisiä vaatimuksia ja sen käytöstä aiheutuu lisäkustannuksia huonon kunnan takia (kuva 1).
Elinkaari	tuotejärjestelmän peräkkäiset tai vuorovaikutteiset vaiheet raaka-aineen hankinnasta tai luonnonvarojen tuottamisesta loppusijoittamiseen
Elinkaarikustannus (LCC = Life cycle cost)	sisältää hankinnan lisäksi kaikki elinkaaren tarkastelujaksolla suoritettavien toimenpiteiden kustannukset muunnettuna nykyarvoon. Tulevaisuudessa syntyvien kustannusten kustannusvaikutus riippuu tarkastelu- ja vertailujakson pituudesta ja laskentakorkokannasta.

Elinkaariarviointi (LCA = Life cycle assessment)

kuvaa tuotteen tai toiminnan koko elinkaaren (kuva 1) aikaisia ympäristövaikutuksia. Näihin ympäristövaikutuksiin kuuluvat myös raaka-aineen hankinta ja syntyvien jätteiden loppukäsittely (kuva 1).

Elinkaaritalous

sisältää rahatalouden (kaikki rahassa arvioitava) ja luonnontalouden (kaiken muun ympäristöön vaikuttavan, jota ei voida rahassa mitata, mutta joka on otettava huomioon päätöksenteossa). Luonnontalouden mittareina voidaan käyttää erilaisia ekoindikaattoreita.

Elinkaarilaatu

tuotteen / palvelun tulee täyttää tilaajan / käyttäjän edellyttämä laatu koko käyttöajan ajan.

Ekotehokkuus

toimivuuden ja ympäristöpaineiden suhde. Toimivuusvaatimuksena on tuote, joka säilyttää vaaditun toimivuuden käyttöajan ajan. /Häkkinen 2001/

Tarkastelujakso

se elinkaaren osa, jonka ajalta elinkaaritarkastelut tehdään. Väylärakenteen elinkaari on niin pitkä, että tarkastelut on syytä ulottaa vain sovitulle tarkastelujaksolle.

Ekoindikaattori (tai ympäristöindikaattori)

ympäristötekijän määrällinen, laadullinen tai kuvallinen mittari

Takuuaika

tierakennuspuolella on se aika, jona urakoitsija on vastuussa tekemästään työstä. Oikeampi termi olisi kuitenkin vastuu aika.

Toimivuus

tuotteen käytön aikainen suoriutuminen.

Sisältö

1	JOHDANTO	13
2	ELINKAARITARKASTELUT TIENPIDON STRATEGIASSA	14
2.1	Elinkaaritarkastelut ja niiden sisältö	14
2.2	Elinkaaritarkastelujen toimintaympäristö - visio elinkaaritarkasteluista hankinnoissa	14
2.3	Elinkaaritarkasteluilla tavoiteltavat hyödyt	15
2.4	Elinkaaritarkastelut hankinnassa - kansainvälisiä kokemuksia	16
3	KÄYTETYT TYÖKALUT JA NIIDEN SOVELTAMISMAHDOLLISUUDET	18
3.1	Käytetyt työkalut	18
3.2	APAS -tierakenteen suunnitteluohjelmisto	18
3.3	TSARPIX -laskentaohjelma tien pituussuuntaisten painumien laskentaan	18
3.4	Meli -laskentaohjelma tien rakentamisen ympäristövaikutusten arviointiin	20
3.5	Liikenteen haittakustannukset ja niiden laskentaperiaatteet piloteissa	20
4	ELINKAARITARKASTELUT ST -URAKOIDEN VERTAILUSSA	22
4.1	Tavanomainen ST -urakoiden vertailu	22
4.2	Mt307 Valkeakoski - Tykölä, tarjousten vertailu	23
4.3	VT9 Turku - Liedon asema	25
5	KOKEMUKSET TARJOUSTEN VALMISTELUSTA JA VERTAILUSTA	30
5.1	Tarjouslaskenta	30
5.2	Tarjouskilpailuun osallistuminen	31
5.3	Tarjouspyyntöjen valmistelu ja tarjousten arviointi	31
6	MENETTELYN ARVIOINTI JA KEHITYSTARPEET	33
6.1	Menettelyn arviointi	33
6.2	Elinkaarisuunnittelun työkalujen kehitystarpeita	38
7	YHTEISKUNNALLISET HYÖDYT	40
8	JOHTOPÄÄTÖKSET JA LISÄTUTKIMUSEHDOTUKSET	41
9	KIRJALLISUUS	43
10	LIITTEET	44

1 JOHDANTO

Tienpidon hankinnassa ollaan siirtymässä nykyisistä Tiehallinnon rakenne- lähtöisiin ohjeisiin sekä laatu- ja tuotevaatimuksiin perustuvista vaatimuksista toimivuusvaatimuksiin perustuvaan hankintamenettelyyn. Tavoitteena on tällöin tarkastella hankinnassa tuotteen koko elinkaaren aikaisia kustannuksia, toiminnallisuutta ja ympäristövaikutuksia. Työkaluja elinkaarikustannusten ja ympäristövaikutusten arviointiin on alustavasti kehitetty mm. TPPT -ohjelman yhteydessä. Tällöin selvitettiin mm. tierakenteen elinkaarikustannusanalyysin menettelyvaihtoehtoja ja laskentamenetelmiä. Lisäksi Tekesin Ympäristögeotekniikka -ohjelman ja TPPT -ohjelman yhteistyönä kehitettiin 'Maarakentamisen arviointi elinkaaren aikaisten ympäristövaikutusten arviointi' -laskentaohjelma (Meli) ympäristövaikutusten arviointiin.

Tutkimus käynnistyi Tiehallinnon aloitteesta ja se laajeni alkuperäisestä ympäristövaikutusten tarkasteluista koskemaan myös muita elinkaaritarkastelujen osatekijöitä. Tutkimus suunnattiin ensisijaisesti Tiehallinnolle, mutta tuloksia voivat hyödyntää myös muut alan rakennuttajat, urakoitsijat, suunnittelijat ja viranomaiset. Tutkimuksen taustalla oli 'Infra-alan elinkaaritarkastelut' esiselvityksen ajatus elinkaariajattelun viemisestä kentälle ja kehitettyjen menetelmien käyttöön otosta. Tutkimuksen tavoitteena oli kahden pilot -urakan toteuttamisen kautta testata elinkaariajattelun soveltamista tienpidon hankinnassa. Toisena tavoitteena oli tunnistaa elinkaarilaadun kannalta tarkempaa selvittämistä edellyttävät asiat. Tiehallinto valitsi pilot -kohteet VTT:n antamien evästysten avulla.

Ensimmäinen pilot -kohde ajoittui vuoteen 2003 ja toinen vuoteen 2004. Ensimmäinen pilot -kohde (Mt307) sijoittui Hämeen piiriin ja toinen (Vt9) Turun piirin alueelle. Molemmat pilot -urakat olivat ns. ST -urakoita (Suunnittele ja Toteuta), joihin sisältyi rakennussuunnittelu ja rakentaminen, muttei ylläpito.

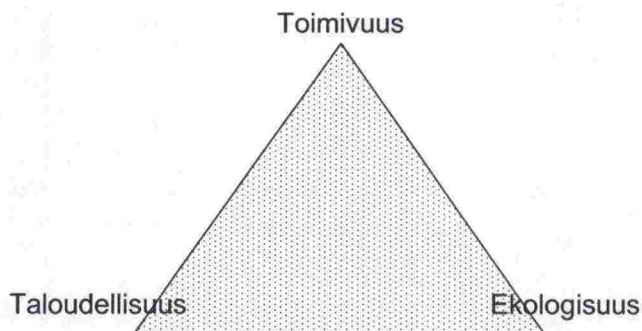
Pilot -kohteiden tarjouspyyntöasiakirjat laadittiin yhteistyössä Tiehallinnon piirien, keskushallinnon, VTT:n tutkijoiden ja Tiehallinnon konsulttien kanssa. Aluksi selvittiin, millaisia tarjousten vertailutapoja ja tarjouspyyntöasiakirjoja ST -urakoissa on käytössä. Näiden tietojen pohjalta lähdettiin kehittelemään uutta tarjousten vertailutapaa, jossa elinkaaritarkastelut ovat mukana. Työskentelytapana käytettiin pienryhmäkokouksia, jossa alan asiantuntijat pohtivat eri seikkojen huomioimista. Kokouksissa laadittua ehdotusta esiteltiin johtoryhmälle, jonka kommenttien jälkeen ehdotuksesta muokattiin edelleen. Tiehallinnon piirit muokkasivat tarjouspyyntöasiakirjat lopulliseen muotoonsa ja toimittivat ne esivalituille urakoitsijoille. Tarjoajille annettiin mahdollisuus esittää kysymyksiä ja saada lisäohjeita tarjousten laskentavaiheen aikana. Lisäksi VTT avusti Tiehallintoa tarjousten vertailussa ja laskentojen tulosten tulkinnessa.

Tarjousten laskennassa tarvittiin työkaluja, joita urakoitsijat tai heidän konsulttinsa eivät olleet aiemmin käyttäneet. Siksi ennen toisen tarjouksen laskentaa järjestettiin koulutustilaisuus urakoitsijoille ja heidän konsulteilleen tarjouksessa edellytettujen työkalujen käyttämisestä. Tarvittavista työkaluista APAS oli kaupallisesti levitettävä ohjelma ja Meli- ja Tsarpix- ohjelmat luovutettiin tarjouslaskijoille veloituksetta. Lisäksi liikenteen haittakustannuksia arvioitiin Excel-pohjaisilla taulukoilla.

2 ELINKAARITARKASTELUT TIENPIDON STRATEGIASSA

2.1 Elinkaaritarkastelut ja niiden sisältö

Elinkaaritarkastelut sisältävät kolme osatekijää: toimivuuden, taloudellisuuden sekä ekologisuuden (kuva 2). Koska infrarakenteiden, -materiaalien ja -tuotteiden käyttöikä on yleensä pitkä, on erittäin tärkeää ottaa mukaan elinkaaritarkasteluihin ylläpidon- ja korjausten aiheuttamat kustannus- ja ympäristövaikutukset. Toisaalta infrarakenteiden käyttöikä voi olla vaikeasti määritettävissä, koska väyläverkostoa perusparannetaan ja kunnostetaan jatkuvasti. Parannustoimenpiteiden ympäristövaikutukset painottuvat eri tavalla kuin uuden väylän rakentamisen ympäristövaikutukset.



Kuva 2. Elinkaaritarkastelujen osatekijät.

Väylärakentamisessa elinkaaritarkastelut voidaan vain harvoin ulottaa koskemaan koko rakenteen elinikää. Tällaisia pitempiaikaisia tarkasteluja on yleensä tarpeen tehdä uuden väylärakenteen suunnittelun alkuvaiheissa. Muuten tarkastelut on järkevää rajoittaa koskemaan lyhyempää tarkastelujaksoa. Tämän tutkimuksen pilot -kohteissa elinkaaritarkastelut ulotettiin koskemaan tien perusparannuksen käyttöikäjaksoa (noin 20 - 30 vuotta). Tien päällyste- ja pohjarakentamisen tutkimusohjelman (TPPT) suunniteluohjeen mukaisesti tierakenteiden elinkaarikustannusarviointi koostuu seuraavien osatekijöiden summasta: investointikustannukset, ajokustannukset, ylläpito- ja hoitokustannukset sekä ympäristövaikutukset. Muut tekijät ovat kustannuksia paitsi ympäristövaikutukset. Ajokustannukset sisältävät ajoneuvo-, aika-, onnettomuus- ja ympäristökustannukset. Tarkastelussa voidaan ottaa huomioon ajokustannusten sijaan työmaan estevaikutuksesta riippuva ajokustannuslisä. Tarkastelujen ongelmana on eri laatuisten tekijöiden – kuten kustannus ja ympäristö – arvottaminen suhteessa toisiinsa. TPPT:ssä esitetyissä tarkasteluissa toimivuus on kustannustekijän osana.

2.2 Elinkaaritarkastelujen toimintaympäristö - visio elinkaaritarkasteluista hankinnoissa

Johtoryhmän kokouksessa 2.12.2003 VTT esitti vision elinkaaritarkasteluista. Johtoryhmän hyväksymän vision mukaan koko tierakenteen elinkaarilaatu (sisältäen ympäristövaikutukset ja toimivuuden) sekä elinkaarikustannukset tulisi voida arvioida suunnittelun eri vaiheissa, hankkeen rakentamiseen

ryhdyttäessä ja/tai urakoitsijan valintaa tehtäessä. Elinkaaritarkastelujen tulisi kohdistua koko tierakenteeseen sisältäen myös pohjanvahvistukset sekä erikoisrakenteet.

Visio on laadittu siten, että siinä ei ole otettu huomioon käytäntöä rajoittavia tekijöitä. Reaalimaailman rajoituksina em. vision suhteen ovat mm.:

- lähtötietojen puutteellisuus
- tierakenteiden pitkän elinkaaren takia joudutaan yleensä valitsemaan rakenteen käyttöön mukainen tarkastelujakso
- vision tavoitteiden saavuttamiseksi puuttuu työkaluja esim. seuraavien seikkojen määrittämiseksi:
 - käyttöikä
 - toimivuusvaatimukset (muun muassa palvelutason alaraja, joka laukaisee toimenpiteen ennen varsinaisia teknisen turmeltumisen raja-arvoa)
 - ympäristö- ja sosiaalisten tekijöiden tunnistaminen ja arvottaminen.

Rakenteen parantamisen ST -urakoiden tarjousten valintaa tehtäessä elinkaaritarkastelujen kannalta oleellisempia tekijöitä ovat:

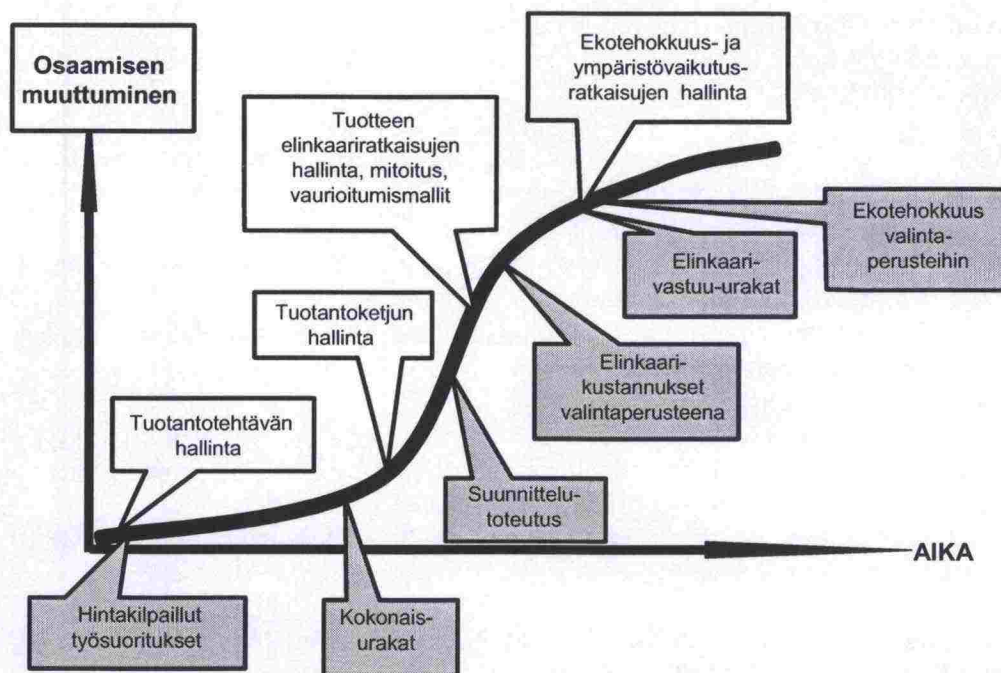
- rakenteen ja sen osien käyttöikä sekä käyttöön alittumisen riski
- kunnossapitotoimenpiteiden ajoittaminen suhteessa tarjouksen rakenneratkaisuihin
- ympäristövaikutusten arvioinnissa tarvittavat tiedot.

Näitä tekijöitä tulee voida arvioida tarjouslaskentavaiheessa tehtyjen suunnitelmien perusteella. Suuri ongelma rakenteiden käyttöikämitoituksessa ja elinkaarikustannusten laskennassa on sopivien turmeltumismallien puute. Siksi rakenteiden käyttöiän, mutta ennen kaikkea käyttöikään liittyvien riskien, määrittäminen on vaikeaa. Näin myös tulevien toimenpiteiden luotettava ajoittaminen on hankalaa.

2.3 Elinkaaritarkasteluilla tavoiteltavat hyödyt

Elinkaaritarkastelujen yksi tavoite on kestävä kehityksen mukaisten periaatteiden soveltaminen tienpidon hankinnoissa. Tiehallinnon tavoitteena on hankintastrategian mukaisesti siirtyä yhä enenevässä määrin elinkaariajattelun mukaiseen hankintaan. Ensimmäiseksi sovelletaan elinkaarikustannuksia hankinnan valintaperusteena, myöhemmin käytetään laajempaa ekotehokkuutta valintaperusteena (kuva 3) /Tiehallinto 2004/.

Elinkaaritarkastelujen avulla voidaan toteuttaa sekä pitkäaikaisen käytettävyyden että taloudellisesti, sosiaalisesti, kulttuurisesti ja ekologisesti kestävä kehityksen tavoitteita. Elinkaariajattelun toteuttamisesta rakentamisessa, käytössä ja kierrätyksessä kutsutaan elinkaaritekniikaksi. Elinkaaritekniikan tavoitteena on suunnitella ja tuottaa kestäväällä tavalla laadukkaita rakennuksia ja rakenteita, jotka täyttävät omistajien käyttäjien ja yhteiskunnan vaatimukset koko elinkaaren ajan hallitulla ja optimoidulla tavalla /Sarja 2001/. Ympäristönäkökohtien arvioinnissa on keskeiseksi oikeudenmukaisuuden periaatteeksi hyväksytty, että tuotteiden vaikutuksia on vertailtava ottaen huomioon koko elinkaari /Häkkinen 2001/.



Kuva 3. Tiehallinnon hankintastrategian kehityspolku. Laajempialaiseen osaamiseen /Tiehallinto 2004/.

2.4 Elinkaaritarkastelut hankinnassa - kansainvälisiä kokemuksia

Selvitys perustuu tutkijoiden henkilökohtaisiin kontakteihin. Kokemuksia on kerätty elinkaariajattelun soveltamisessa pisimmällä olevista Euroopan maista, kuten Alankomaista, Ruotsista ja Tanskasta. Englannista ei saatu tietoja. Mukana on myös kuvaus FORMAT-projektista, joka yhtenä tehtävänä oli kehittää liikenteen haitan laskentatapoja. Selvityksen mukaan Euroopassa sovelletaan elinkaaritarkastelujen osia, mutta systemaattista lähestymistapaa ei ole kehitetty. Pisimmällä näytettäisiin olevan Alankomaissa.

Alankomaat: Elinkaarimallien (PPP = Private Public Partnership) mukaisesti hankinnassa sovelletaan Public Sector Comparator työkalua vertailtaessa tarjouksia vastaavaan parhaaseen julkisen sektorin vaihtoehtoon. Suunnittelussa otetaan huomioon vain elinkaarikustannukset. Lyhyiden takuuajakaisten hankkeiden elinkaariarviointi perustuu riskien ja valtioille palautuvien tai valtion kustannusten arviointiin. Tarjousten vertailussa hinnan ja laadun suhde ei ole vakio, vaan vaihtelee kohteittain paikallisesta politiikasta riippuen. Suunnitteluvaiheessa sovelletaan sosiaalista hyöty-kustannusarviota (OEI) yhdistämään rahalliset ja ei-rahalliset tekijät. Tarjouksia arvioidaan kustannusten ja toimivuuden perusteella. Liikenteenhaittakustannuslaskentoja sovelletaan kohteesta riippuen, esimerkiksi tien käytettävyyden laskiessa alle 95 %:in asetetusta tavoitteesta annetaan sanktio.

Muissa hankintamenetelmissä Alankomaissa sovelletaan elinkaarianalyysiin perustuvaa laskentatyökalua. Tällöin yleensä verrataan vain sidottujen kerrostien rakentamista, jonka tekniset vaatimukset ovat vakioitu. Työkalu sisältää suuren ympäristötietokannan, josta rakentamisen ympäristövaikutukset muutetaan raha-arvoiksi muuntokertoimien avulla. Ympäristötekijöiden tarkastelu-aika on 30 - 40 vuotta ja ehdotettu toimenpide oletetaan toistettavan samanlaisena tarkastelujakson aikana käyttöiästä riippuvien aikavälein.

Ruotsi: Ruotsissa elinkaaritekniikan teoreettisen osaamisen taso on korkea erityisesti talonrakennuspuolella. Aiheesta on tehty useita väitöskirjatutkimuksia. Esimerkkinä Eva Sternerin väitöskirja aiheesta "Green procurement of Buildings" /Sterner 2002/. Saatujen tietojen mukaan Ruotsissa ei ole ollut merkittäviä koeprojekteja elinkaariajattelun soveltamisesta käytäntöön infra-rakentamisen alalla.

Tanska: Rakenteiden parantamiskohteiden arvioinnissa, kun rakenne on ennalta määritetty, tarjouksen valinta perustuu yksinomaan hintaan. Asfalttipäällysteiden osalta sovelletaan viiden vuoden takuu-aikaa. Jos urakoitsija tarjoaa pidempää takuu-aikaa, tarjouksia vertaillaan hinnan ja urakoitsijan ilmoittaman käyttöiän suhteen. Vertailu perustuu vain hintaan ja käyttöikään, ei ympäristövaikutuksiin. Pidempiaikaisten toiminnallisten urakoiden vertailussa hinnan osuus arvioinnista on 70 % ja laatutekijöiden osuus on 30 % sisältäen palvelun, ympäristövaikutukset, sosiaaliset vaikutukset jne. Kaikki ei-hinnalliset laatutekijät skaalataan. Skaalauksessa paras tarjous saa 10 pistettä, keskiarvoinen 7 ja ei vaatimukset täyttävä 0 pistettä. Myös väliarvoja käytetään. Tietoja kaistavuokrauksen ja ympäristövaikutusten soveltamistavoista ei saatu. Uusien väylien rakentamisen vertailusta ei saatu tietoja.

Euroopan Komission viidennen puiteohjelman projektissa **FORMAT** (Fully Optimised Road Maintenance) kehitettiin prototyyppi laskentatyökalusta, jolla voidaan mm. arvioida tietyömaan aiheuttamia lisäkustannuksia tienkäyttäjille. Tietyömaasta tienkäyttäjälle aiheutuvaa lisämatka-aikaa arvioitiin todennäköisyyspohjaisella mallilla normaalisti käytetyn deterministisen mallin sijaan. Malli ennustaa työmaan ohittamiseen tarvittavaa matka-aikaa, tien välityskyvyn ylittyessä syntyvää jonon pituutta sekä tietyömaasta aiheutuvaa muutosta polttoaineenkulutuksessa. Malli on varsin monimutkainen vaatien runsaasti tarkkoja lähtötietoja tiekohteesta. Mikäli mallin lähtötiedot ovat saatavina, ennustaa se liikenteen häirtää varsin hyvin.

3 KÄYTETYT TYÖKALUT JA NIIDEN SOVELTAMISMAHDOLLISUUDET

3.1 Käytetyt työkalut

Tutkimuksessa sovellettiin erilaisia työkaluja elinkaaritarkastelujen osalta. Työkalujen yleinen kuvaus ja käyttökokemukset on esitetty tässä luvussa. Työkalujen yksityiskohtainen esittely on liitteessä 2. Käytetyt työkalut olivat:

- APAS - ohjelma tierakennekerrosten mitoittamiseen
- TSARPIX -ohjelma tien pituussuuntaisen epätasaisuuden laskentaan
- Meli -ohjelma tien rakentamisen (päälysrakennekerrosten + pohjavahvistusten) ympäristövaikutusten arviointiin
- liikenteen haittakustannusten laskentaperiaatteet.

Työkaluista APAS- ja TSARPIX -ohjelmat kuvaavat rakenteen toimivuutta. Meli -ohjelmaa taas käytetään mittaamaan rakentamisen ekologisuutta. Liikenteen haittakustannukset edustavat elinkaaritarkastelujen kustannusvaikutuksia. Sovellettavat työkalut valittiin kohteen mukaisesti. Liedon kohteessa (VT9) sovellettiin kaikkia neljää työkalua, kun taas Valkeakoskella, jossa ei ollut odotettavissa painumaongelmia, sovellettiin muita työkaluja paitsi TSARPIX:ia.

3.2 APAS -tierakenteen suunnitteluohjelmisto

APAS on Windows-pohjainen tietokoneohjelma, jonka kehittivät Neste Oy ja Tielaitos 1990-luvulla. Nykyisin Tiehallinnolla on ohjelman kehitysoikeudet. APAS on suunniteltu uuden rakenteen kuormituskestävyyden mitoittamiseen materiaalien väsymisteorian pohjalta. Se ei sisällä routamitoitusta, eikä sillä voi arvioida rakenteiden urautumista. APAS_3 (versio 3) ei suoraan sisällä rakenteen parantamisen mitoitus, mutta sitä voidaan soveltaen käyttää myös siihen.

Pilot -urakoiden käyttökokemukset APAS -ohjelmasta osoittivat, että se on helppo käyttää, mitoittajille tuttu ja selkeä. Puutteita todettiin olevan erityisesti rakenteen parantamisen mitoituksessa ja materiaalivalikoimissa. Materiaaleille toivottiin ajan tasalla olevaa referenssihintaa, jota ylläpidettäisiin vaikkapa hintaindeksiperiaatteella. Lisäksi ohjelmaan toivottiin muutamia erityisominaisuuksia kuten iteroinnin optimointia esim. rakenteen kokonaispaksuutta minimoiden tai laskentapisteiden sijainnin valintamahdollisuutta.

3.3 TSARPIX -laskentaohjelma tien pituussuuntaisten painumien laskentaan

TPPT -tutkimusohjelmassa kehitettiin tien painumalaskentaohjelma TSARPIX /Tammirinne 2002/. Oleellinen tavoite TSARPIX -ohjelman kehittämisessä oli luoda painumien jatkuva laskentaprofiili - etenkin tien pituussuunnassa. Laskentaa varten tarvitaan myös jatkuva kuvaus painuman lähtötiedoista. Jatkuva kuvaus painuman lähtötiedoista voidaan hankkia sähköisin vastusluotauksin. Vastusluotauksia täydennetään häiriintymättömillä näytteenotoilla, joista määritetään näytteen painumisominaisuudet vesipitoisuuden suhteen.

Sähköinen vastusluotaus on yksi ainetta rikkomattomista, geofysikaalisista tutkimusmenetelmistä. Sähköinen vastusluotaus antaa tasoitettuja vastusarvoja, mutta siitä ei voida tunnistaa suoraan eri rajapintoja. /Törnqvist et al. 2001/. Vastusluotauksella määritetty vastus muutetaan vastaamaan maakeroksen vesipitoisuutta. Vesipitoisuuden, muiden painumisominaisuuksien ja kuormitustietojen perusteella lasketaan mittaustuloksen mukainen painumaprofiili halutulla pistevälillä (esimerkiksi metrin välein) eri ajan hetkillä. Kuormitushistoria voi sisältää myös eri vaiheessa tehtyjä rakentamistoimenpiteitä.

Liedon kohteessa TSARPIX -laskennan tuloksista etsittiin tarkasteluväleittäin pituuskaltevuuden muutoksen maksimiarvoja eri tarkasteluajankohtina. Tämä kaltevuudenmuutokset kuvaavat rakenteen herkkyyttä painumaepätasaisuuksiin. Vaikka TSARPIX -ohjelma on vasta prototyyppiasteella eikä se ole erityisen helppokäyttöinen, todettiin sen vastaavan hyvin pituussuuntaiseen tasaisuusvaatimukseen määrittämiseen. Tiehallinto omistaa TSARPIX:in käyttöoikeudet. Kokemukset käytöstä vahvistivat prototyyppiohjelman puutteen: ohjelmaa tulisi kehittää edelleen käyttäjäystävällisempään suuntaan. Lisäksi ohjelman luotettava käyttö edellyttää tällä hetkellä tilaajan testausta tarjouspyyntöjen valmistelussa.

Käyttökokemukset TSARPIX -ohjelman käyttämisestä pilot -kohteissa olivat pääosin myönteisiä tai erittäin myönteisiä. Ohjelmassa oli toki "lastentauteja", mutta vertailtaessa sen tuloksia käsin laskettuihin painumiin, erot olivat pieniä, joten tulokset tuntuivat luotettavilta. Sähköisessä vastusluotauksessa todettiin jossain kohdin paikallisia poikkeamia, joita ei voitu selittää luonnon fysikaalisilla ominaisuuksilla. Syynä maastosta riippumattomiin epäjatkuvuuskohtiin on useimmiten ollut luotausten mittaustavasta johtuvat vasta painumalaskelmissa paljastuneet mittausepä-tarkkuudet.

Haastattelujen mukaan TSARPIX -laskennan tueksi kaivattiin kyllä aina näytteenottoa ja laboratoriomääritettyjä parametreja, jotta laskennat voidaan perinteisillä ohjelmilla tarkistaa. Esitetty laskentamenetelmä koettiin tulevaisuuden menetelmäksi, jolla voidaan vastata pituussuuntaisen tasaisuuden vaatimukseen. Ongelmallisiksi käytössä todettiin ohjelman heikko käyttöliittymä, huonot mahdollisuudet muuttaa parametreja sekä tarve muuttaa käsin tasauksia. Myös ohjelman latauksessa ja tulostuksessa oli useita käytännön ongelmia. Keskeneräisyydestä johtuen ohjelman käyttö koettiin keskimääräisen vaikeaksi tai vaikeaksi. Ohjelmaan toivottiin myös esimerkkiä ylikonsolidoituneen ja hyvin vettä johtavan kerroksen käsittelystä ja selvitystä siitä, miten lähtötietoihin syötettävät muuttujat vaikuttavat laskentaparametreihin.

Suureksi ongelmaksi koettiin myös painumalaskelmien lähtötietojen pieni määrä ja niiden laatu. Lisätutkimuksia toivottiin enemmän ja myös tienpenkereen alta. Painumaparametrien määrittäminen koettiin salatiemeenä, johon kaivattiin selvennystä suhteessa jo tunnettujen menetelmien parametreihin. Jotkut suunnittelijat saivat joillekin tarkasteluväleille luonnottoman suuria painumaeroja.

3.4 Meli -laskentaohjelma tien rakentamisen ympäristövaikutusten arviointiin

Maarakentamisen elinkaarilaskentaohjelma, Meli, kehitettiin VTT Kemiantekniikassa (nykyinen VTT Prosessit) tierakenteiden elinkaaren aikaisten ympäristövaikutusten laskentaan ja vertailuun. Excel-pohjainen ohjelma soveltuu mm. tiensuunnittelijoille ja urakoitsijoille rakenne- ja materiaalivaihtoehtojen vertailuun. Myös materiaalien tuottajat voivat ohjelman avulla toimittaa asiakkaille tiedot tuotteidensa käytön ympäristövaikutuksista tai antaa vertailevia tietoja eri tuotevaihtoehtojen ympäristökuormituksista.

Meli -ohjelma on suhteellisen helppokäyttöinen ohjelma, jota voidaan jo nykyisellään soveltaa tarjousten vertailussa. Ohjelma on nähty tärkeänä työkaluna ympäristöasioiden ja elinkaariajattelun liittämässä maarakenteiden käytännön suunnittelutyöhön. Ohjelman kehittäminen laajemmin eri rakenteille soveltuvaksi yhtenäistäisi erilaisten rakenteiden elinkaariominaisuuksien laskentaa. Erilaisten käyttötapojen (eri rakenteet ja suunnittelun vaiheet) mahdollistamiseksi ohjelmaan tarvittaisiin enemmän joustavuutta ja soveltumismahdollisuuksia. Ohjelman rakenteen ja käyttöliittymän muokkaaminen helppokäyttöisemmäksi, helpommin muunneltavaksi ja täydennettäväksi sekä paremmin yhteensopivaksi muiden suunnitteluohjelmien kanssa olisi tarpeellista. Pilot-kohteista saadut kokemukset tukevat näitä kehitystarpeita.

Valkeakosken kohteen laskennassa Meli -ohjelma ei ollut laskijoille tuttu ennestään. Laskelmien tekeminen koettiin yleisesti melko helpoksi. Suurimmaksi ongelmaksi laskelmien tekemisessä muodostuivat ohjelmasta puuttuvat materiaalit/rakenteet (komposiitti- ja remixer-stabilointi). Laskijoilla koettiin olevan liikaa soveltamisenvaraa tehdessään laskelmia puuttuvien materiaalien osalta. Ohjelman rakennevaihtoehtoihin kaivattiin enemmän joustoa siten, että eri materiaalien käyttö olisi sallittua joustavammin eri rakennekerroksissa. Vertailu vertailurakenteisiin koettiin myös hankalaksi, koska vertailurakenteiden valinnassa oli laskijoiden mielestä liikaa tulkinnanvaraa. Käyttöohjeet koettiin epäselviksi, mikä saattoi osittain johtua siitä, ettei niitä ollut luettu riittävän huolellisesti.

Liedon kohteen tarjousten ympäristökuormituslaskelmissa käytetty vertailutapa helpotti tarjouslaskijoiden työtä sekä vähensi laskennan epävarmuuksia ja soveltamistarpeita. Kokemuksien ja / tai koulutuksen ansiosta laskelmat olivat pääosin oikein tehty ja sisälsivät pyydytyt tulosteet. Laskijoille oli epäselvää, huomioidaanko työmaan sisäiset kuljetukset laskelmissa vai ei. Tämänkaltaisessa kohteessa työmaan sisäiset kuljetukset tulisi ottaa huomioon tarkastelussa, mutta koska ohjeet olivat olleet epäselvät, tarjousten vertailussa päädyttiin jättämään työmaan sisäiset kuljetukset pois tarkastelusta. Tarjousten vertailussa huomioitiin vain ajokaistojen ja pientareiden rakentamisen aiheuttamat ympäristökuormitukset. Tasausmassat ja kulkuaukot jätettiin pois vertailusta, koska kaikki tarjoajat eivät olleet niitä esittäneet.

3.5 Liikenteen haittakustannukset ja niiden laskentaperiaatteet piloteissa

Väylärakenteen merkittävimmät kustannukset muodostuvat väylän käytöstä eli niin sanotuista ajokustannuksista. Ajokustannuksiin lasketaan sekä ajoneuvokustannukset, polttoaine-, onnettomuus- ja ajamisesta aiheutuvat ym-

päristövaikutukset ja kustannukset. Koska nämä kustannukset ovat hyvin suuria ja niiden laskenta on työlästä, on eri toteuttamisvaihtoehtojen välillä järkevää tarkastella lisäajokustannuksia. Näillä kustannuksilla tarkoitetaan niitä ajokustannuslisä, jotka muodostuvat työmaan hidastavasta vaikutuksesta aiheutuvista kustannuksista. Tätä ajatusta on sovellettu kummassakin pilot -kohteessa eri tavoin.

Työmaan tai toimenpiteen aiheuttamat lisäkustannusten laskentaperiaatteet on kehitetty niin pitkälle, että ne ovat hyvin käyttökelpoisia osia tarjousten vertailussa. Tämän hetkisten kokemusten perusteella tarjousten vertailuun soveltuu paremmin Liedon kohteen kaistan vuokrausperiaate. Sitä vastoin Valkeakosken kohteessa sovellettu toimenpiteestä riippuva kustannuslisä-laskenta tuntuisi soveltuvan paremmin suunnitteluvaiheeseen.

Valkeakoski, Mt307, liikenteen haittakustannuksen laskemisen periaatteet:
Tietyömaat aiheuttavat lisäajokustannuksia tienkäyttäjille lähinnä pidentyneenä matka-aikana, kohonneena ajoneuvokustannuksena sekä lisääntyneenä onnettomuusriskinä. Ajokustannuslisä aiheutuu työmaan kohdalla tapahtuvasta ajonopeuden laskusta, mahdollisesta kiertotiestä sekä ruuhkautumisesta. Tässä kohteessa käytettiin laskennan perustana HIPS (Highway Investment Programming System) järjestelmään perustuvia keskimääräisiä parantamistoimenpideluokasta riippuvia lisäajokustannushintoja.

Tarjoajien mukaan toimenpideluokan määrittäminen oli vaikeaa tarjousten laskentavaiheessa ja toimenpideajan rajaaminen epäselvää. Lisäksi kaivattiin selvyyttä siihen, miten toteutumaa seurataan.

Lieto, VT9, kaistan vuokrausperiaatteen soveltaminen:
Valkeakosken kohteessa todettiin, että parantamistoimenpiteiden keston ja toimenpideluokan määrittäminen oli hankalaa. Siksi toisessa kohteessa päätettiin soveltaa yksinkertaisempaa kaistanvuokrausperiaatetta. Kaistavuokra määritettiin päivittäin kaikille työmaille, jotka tulevat aiheuttamaan liikenteelle häiriötä. Kaistanvuokran suuruuteen vaikutti työmaan kesto-aika ruuhka-aikoina, häiriön pituus metreinä sekä liikenteenohjaustapa työmaalla. Urakoitsijan tuli esittää liikenteen haittavaikutukset tarjouspyynnön mukana olevassa Excel-muotoisessa taulukossa. Urakoitsija oli velvoitettu pitämään kirjaa kaistanvuokrauksistaan työmaapäiväkirjassa. Mikäli tarjouksessa ilmoitetut kaistanvuokrat ylitettiin, vähennettiin urakkasummaa vastaavasti. Maksimisanktioksi oli määritetty 50 000 euroa. Tämän maksimisanktion olisi pitänyt olla suurempi tässä moottoritietapauksessa.

Tarjoajat kokivat Liedon kohteen kaistanvuokrauksen laskennan helpoksi ja suhteellisen selväksi tehtäväksi. Vastaavia periaatteita on sovellettu siltojen korjausurakoissa. Jotkut tarjoajat kokivat ongelmaksi eri toimenpiteiden vuokrauksen yhdistämisen. Parannuksena he ehdottivat toimenpidekohtaista vuokrausperiaatetta, eli sillan korjaukselle oma vuokransa ja päällystykselle omansa jne. Maksimisanktion todettiin olleen melko pienen, eikä se välttämättä ohjannut halutulla tavalla vuokrausta. Urakoitsijat totesivat, että olivat valmiita maksamaan ko. summan ja tekemään työt omassa aikataulussaan.

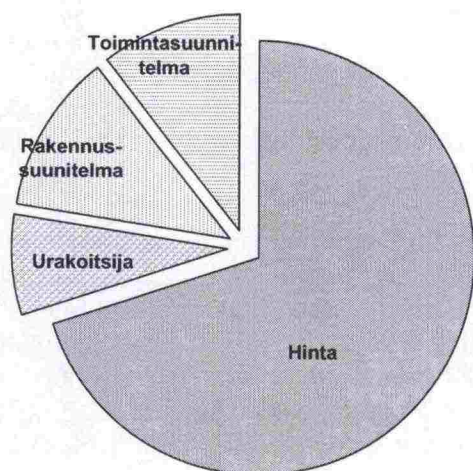
4 ELINKAARITARKASTELUT ST -URAKOIDEN VERTAILUSSA

4.1 Tavanomainen ST -urakoiden vertailu

Tavanomainen tällä hetkellä käytössä oleva ST -urakoiden vertailumenettely painottaa tarjousten hintaa enemmän kuin laatuosiota. Tyypillisesti hinnan teoreettinen paino-osuus on ollut 70 % ja laadun 30 % (kuva 4). Yksittäisissä tarjouksissa laadun osuus on noussut 40 %:iin asti. Taulukossa 1 on esitetty koottu esimerkki vuonna 2002 Hämeen piirissä käytetystä laatupesteytyksestä. ST -urakoiden takuuajat ovat vaihdelleet kolmesta seitsemään vuoteen. Yleisin on ollut viiden vuoden takuu aika.

Taulukko 1. Esimerkki laatupesteytyksestä ST -urakassa.

Arviointikohteet		Painoarvo-kerroin %
A. Tarjouksen antaja	A. Yhteensä	20
	ST -urakoiden (projektijohtomallit, KVV jne.) referenssit	5
	Projektipäällikkö, vastaava työnjohtaja, laatuvaastaava sekä muut avainhenkilöt	15
B. Alustava rakennus-suunnitelma	B. Yhteensä	45
	Suunnittelijat	10
	Rakenteiden alustavat suunnitelmat	35
C. Toiminta- ja laatusuunnitelma	C. Yhteensä	35
	Urakan organisointi ja laadunvarmistus	10
	Tuotannon suunnittelu ja riskikartoitus	10
	Suunnittelun hallinta ja tiedonkulun varmistaminen	5
	Työnaikaisen liikenteen ohjaus sekä ympäristö- ja turvallisuusasiat	10
Yhteensä		100



Kuva 4. Tavanomaisen ST -urakoiden vertailun painotusten jakaantuminen.

Käytännön vertailuissa laatuosio merkitsee selvästi vähemmän kuin kuva 4 antaa ymmärtää. Tämä johtuu siitä, että laatuerot eri tarjousten välillä ovat pieniä. Kokemusten mukaan laatuosion merkitys vertailussa on ollut vain muutamia prosentteja (1%...5%).

4.2 Mt307 Valkeakoski - Tykölä, tarjousten vertailu

Tarjousten arvioinnin perustana oli tavanomainen tarjousten vertailuhintaan perustuva arviointi. Tähän päädyttiin ennen kaikkea aikataulusyistä. Kohde oli yksiajoratainen maantie, jossa on parannettavaa maantietä noin 9,4 km ja tielinjan oikaisua noin 1,0 km. Tien rinnalle rakennettavan kevyen liikenteen väylän pituus oli 4,7 km. Parantamistoimenpiteet sisälsivät väistöiloja, liittymien kanavointia, yksityistiejärjestelyjä, tien geometrian ja rakenteen parantamista. Tyypillisiä rakenteellisia ongelmia olemassa olevalla tiellä olivat routavauriot, tien reunaosien heikko kantavuus, pituus- ja poikkisuuntaiset epätasaisuudet sekä urautuminen. Maantien 307 liikennemäärät (KVL 2200) olivat suhteellisen alhaisia ja raskaiden osuus (2,9...3,6 %) siitä oli melko alhainen. Siksi liikenteen haittakustannuksien todettiin olevan kaikissa tapauksissa niin pieniä, eivätkä ne ohjanneet parantamismenetelmän valintaa.

Kohdassa 4.1 esitettyä tavanomaista tarjousten arviointitarkastelua laajennettiin koskemaan myös ympäristövaikutuksia (Meli -ohjelma) ja liikenteen haittakustannuksia (kuva 5). Varsinaisten laatupisteiden osuus oli 30 %. Liikenteenhaitta laskettiin täydellä arvolla ja lisättiin tarjoushintaan sellaiseenaan. Ympäristövaikutusten painoarvo oli $\pm 10\%$ siten, että tarjoaja sai 0 %, mikäli tarjous vastasi etukäteen asetettua referenssirakennetta. Mikäli suunnitelma sai suuremmat ympäristövaikutukset kuin referenssirakenne, tarjoushintaa korotettiin. Mikäli ympäristövaikutukset olivat pienempiä kuin referenssirakenteella, tarjouksen hintaa laskettiin. Tarjousten vertailuhinnan laskennassa käytettiin yhtälöä 1.

$$X_{\text{vertailu}} = X_{\text{tarjous}} \left[1 - 0,3 \frac{P_{\text{laatu}}}{1000} - Y \right] + X_{\text{liik}} \quad (1)$$

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^n y_{i(\text{Meli})}}{n} \quad (2)$$

missä	X_{vertailu}	tarjouksen vertailuhinta
	X_{tarjous}	tarjouksen hinta
	P_{laatu}	laatuosion summa (max. 1000 pistettä)
	X_{liik}	liikenteen haittakustannukset rakennusaikana
	Y	ympäristövaikutustermi ($-0,10 \leq Y \leq 0,10$)
	$y_{i(\text{Meli})}$	Yhden rakennetyypin vertailurakenteisiin suhteutetut ympäristövaikutukset Meli -ohjelmalla laskettuna (ympäristövaikutukset lasketaan suhteutettuna niiden jaksojen pituuksiin)
	n	rakennetyyppien lukumäärä

Käytännön vertailuissa laatuosio merkitsee selvästi vähemmän kuin kuva 4 antaa ymmärtää. Tämä johtuu siitä, että laatuerot eri tarjousten välillä ovat pieniä. Kokemusten mukaan laatuosion merkitys vertailussa on ollut vain muutamia prosentteja (1%...5%).

4.2 Mt307 Valkeakoski - Tykölä, tarjousten vertailu

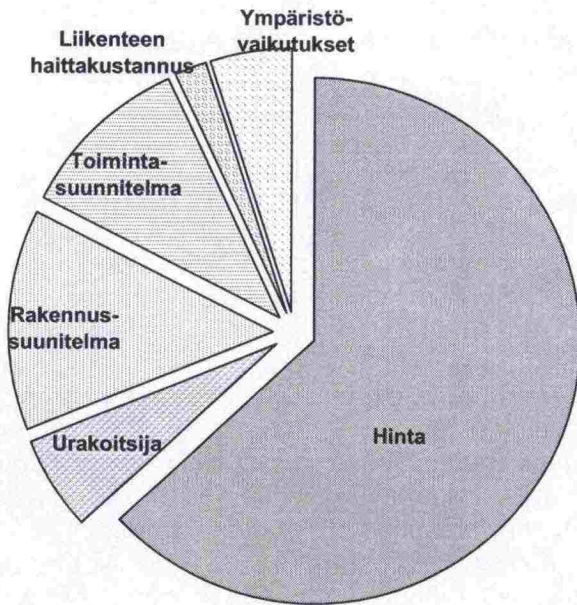
Tarjousten arvioinnin perustana oli tavanomainen tarjousten vertailuhintaan perustuva arviointi. Tähän päädyttiin ennen kaikkea aikataulusyistä. Kohde oli yksiajoratainen maantie, jossa on parannettavaa maantietä noin 9,4 km ja tielinjan oikaisua noin 1,0 km. Tien rinnalle rakennettavan kevyen liikenteen väylän pituus oli 4,7 km. Parantamistoimenpiteet sisälsivät väistötiloja, liittymien kanavointia, yksityistiejärjestelyjä, tien geometrian ja rakenteen parantamista. Tyypillisiä rakenteellisia ongelmia olemassa olevalla tiellä olivat routavauriot, tien reunaosien heikko kantavuus, pituus- ja poikkisuuntaiset epätasaisuudet sekä urautuminen. Maantien 307 liikennemäärät (KVL 2200) olivat suhteellisen alhaisia ja raskaiden osuus (2,9...3,6 %) siitä oli melko alhainen. Siksi liikenteen haittakustannuksien todettiin olevan kaikissa tapauksissa niin pieniä, eivätkä ne ohjanneet parantamismenetelmän valintaa.

Kohdassa 4.1 esitettyä tavanomaista tarjousten arviointitarkastelua laajennettiin koskemaan myös ympäristövaikutuksia (Meli -ohjelma) ja liikenteen haittakustannuksia (kuva 5). Varsinaisten laatuasteiden osuus oli 30 %. Liikenteenhaitta laskettiin täydellä arvolla ja lisättiin tarjoushintaan sellaiseenaan. Ympäristövaikutusten painoarvo oli ± 10 % siten, että tarjoaja sai 0 %, mikäli tarjous vastasi etukäteen asetettua referenssirakennetta. Mikäli suunnitelma sai suuremmat ympäristövaikutukset kuin referenssirakenne, tarjoushintaa korotettiin. Mikäli ympäristövaikutukset olivat pienempiä kuin referenssirakenteella, tarjouksen hintaa laskettiin. Tarjousten vertailuhinnan laskennassa käytettiin yhtälöä 1.

Virhe. Objekteja ei voi luoda muokkaamalla kenttäkoodeja.
(1)

Virhe. Objekteja ei voi luoda muokkaamalla kenttäkoodeja.
(2)

missä	X_{vertailu}	tarjouksen vertailuhinta
	X_{tarjous}	tarjouksen hinta
	P_{laatu}	laatuosion summa (max. 1000 pistettä)
	X_{liik}	liikenteen haittakustannukset rakennusaikana
	Y	ympäristövaikutustermi ($-0,10 \leq Y \leq 0,10$)
	$Y_{i(\text{Meli})}$	Yhden rakennetyypin vertailurakenteisiin suhteutetut ympäristövaikutukset Meli -ohjelmalla laskettuna (ympäristövaikutukset lasketaan suhteutettuna niiden jaksojen pituuksiin)
	n	rakennetyyppien lukumäärä



Kuva 5. Mt307 painotusten jakaantuminen.

Tarjousten laadun vertailussa painotettiin rakennussuunnitelmaa ja erityisesti rakenteiden mitoitusta enemmän kuin aiemmin oli tehty. Laatupesteytys oli pääosin sama kuin edellä esitetyssä esimerkissä (taulukko 2). Painotuksella haluttiin korostaa rakenteiden pitkäaikaisuutta, joka merkitsee yleensä myös parempaa elinkaaritaloudellisuutta. Rakenteiden mitoitusta vaadittiin osoittavaksi APAS -ohjelmalla tehtävillä kuormituskestävyystarkasteluilla sekä niitä täydentävillä routamitoituksella. Suunnitteluiäksi valittiin 20 vuotta. Urakan takuu-aika oli 5 vuotta. Vaikka pääpaino elinkaaritarkastelujen osalta olikin tarjousten vertailukäytännöissä, myös urakoiden tuotevaatimukset ja arvonmuutosperusteet tarkastettiin ja niitä muutettiin suosimaan rakenteiden pitkäikäisyyttä ja sen todentamista.

Tarjousten valmistelussa edellytettiin käytettäväksi APAS:ia ja ympäristövaikutusten arviointiin Meli -ohjelmaa. APAS -ohjelmaa on jo käytetty tierakenteiden mitoitukseen muutaman vuoden ajan. Toistaiseksi ohjelma ei ole ollut rutiinikäytössä, eikä sitä ole ollut kaikilla suunnittelutoimistoilla. APAS -ohjelma on ensisijaisesti kehitetty uusien tierakenteiden suunnitteluun, siksi soveltui kankeasti rakenteiden parantamisen mitoittamiseen. Mitoitusten tavoitteena oli määrittää eri rakennevaihtoehtojen käyttöikä (ensimmäisen vaurion syntyminen), joita sitten verrattiin toisiinsa.

Tarjousten arvioinnissa oli mukana kolme tarjousta. Arvioinnissa vaikeuksia aiheutti rakenteiden käyttöiän arviointi – erityisesti routamitoituksen osalta. Laatuosiossa urakoitsijoiden ero oli noin 1,8 %, liikenteen haittakustannuksissa 0,3 % ja ympäristövaikutuksissa 4,1 %. Tarjouskilpailu ratkesi pelkästään edullisimman tarjoushinnan perusteella, koska vertailtujen tarjousten hintaero oli noin 25 %.

4.3 VT9 Turku - Liedon asema

Valkeakosken tarjousten vertailussa koettiin puutteeksi se, ettei rakenteiden pitkäikäisyyttä voitu kunnolla ottaa huomioon. Rakenteiden pitkäikäisyys ja helppo huollettavuus ovat seikkoja, joiden oletetaan parantavan elinkaaritaloudellisuutta. Tätä taustaa vasten etsittiin toiseksi pilot -kohteeksi kohdetta, joka soveltuisi paremmin rakenteiden pitkäikäisyyden arviointiin. Valinta osui valtatie 9 parantamiseen välillä Turku - Liedon asema. Kohteen liikennemäärä (KVL 11290...14764) ja raskaiden ajoneuvojen osuus (9...12 %) olivat merkittävästi suurempia kuin Valkeakoskella. Lisäksi parannettavan kohteen pääasiallisina vauriotekijöinä olivat erilaiset epätasaisuudet ja tien poikisuuntainen latistuminen.

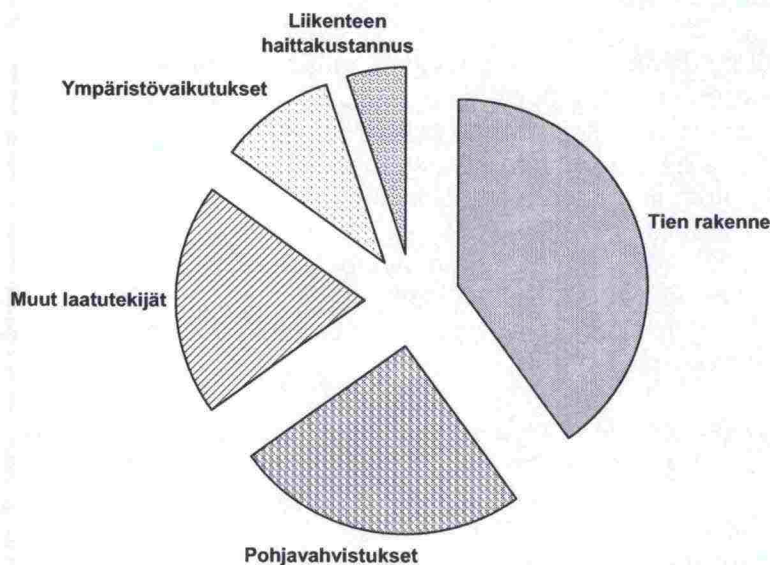
Tavoitteena Liedon kohteessa oli etsiä menetelmiä, jolla voitaisiin tarkemmin arvioida rakenteen suunnitteluiän aikaista toimivuutta ja epätasaisuudesta aiheutuvaa haittaa. Siksi valtatie 9 parantamisessa tarjousten vertailussa painotettiin erityisesti rakenteiden pitkäikäisyyttä ja tasaisuuden hallintaa suunnitteluiän aikana. Vertailutekijöinä käytettiin lisäksi liikenteen haitta- ja ympäristövaikutuksia. Tierakenteiden suunnitteluiäksi valittiin 20 vuotta ja pohjarakenteiden 30 vuotta. Tämänkin urakan takuu aika oli viisi vuotta.

Taulukossa 3 on esitetty tavanomaiset sekä pilot -urakoiden vertailuperiaatteet. Valkeakosken urakan vertailutapa muistutti tavanomaista. Sitä vastoin Liedon kohteessa yritettiin muuttaa perinteistä vertailua suosimaan enemmän elinkaarilaatua. Siinä tarjouksia vertaillaan toisiinsa pelkästään erilaisen laatutekijöiden suhteen. Kuvassa 6 on esitetty painotusten jakaantuma.

Taulukko 2. Tarjousten vertailuperiaatteet.

Perinteinen tapa:	Pilotti 1 (Valkeakoski):	Pilotti 2 (Lieto):
Tarjouksen hinta 70% Laatu 30 % - Urakoitsija 20 -30 % - Rakennusuunnitelma 40 - 45 % - Toimintasuunnitelma 30 - 35 %	Tarjouksen hinta (≈ 70 %) Laatu 30 % - Urakoitsija 20 % - Suunnitelma 45 % - Toimintasuunnitelma 35 % Ympäristövaikutukset ± 10 % Liikenteen haittakustannukset	Kiinteähintainen urakka Päälysrakenteen laatu Pituussuuntainen tasaisuuslaatu Muut laatutekijät (urakoitsija, toimintasuunnitelma) Ympäristövaikutukset Liikenteen haittavaikutukset
Perinteinen taulukkomitoitus, takuu aika 3 - 7 vuotta	Suunnitteluikä 20 v, takuu aika 5 vuotta	Suunnitteluiät 20 ja 30 vuotta, takuu aika 5 vuotta
Laadun vaikutus käytännössä 1% - 5%	Laadun vaikutus käytännössä noin 2 %	Laadun vaikutus 100 %

Uusien vertailutekijöiden takia tarjousten vertailutapaa muutettiin aiemmista. Aluksi vertailuperusteeksi yritettiin soveltaa vuosikustannusperiaatetta. Vuosikustannusten laskentaperiaate tierakenteille on esitetty TPPT -projektin menetelmäkuvauksessa 20 /Petäjä ja Spoof 2001/. Vuosikustannusten laskenta edellyttää tietoja myös tarkasteluaikana tehtävistä kunnossapitotoimenpiteistä kuten uudelleenpäällystys jne. Kohteesta, jonka takuu aika on vain 5 vuotta, ei voida arvioida eri vaihtoehtojen uudelleenpäällystystarvetta ja niiden kustannuksia. Siksi vuosikustannuslaskennasta luovuttiin ja siirryttiin pisteytysjärjestelmään.



Kuva 6. Vt9 painotusten jakaantuminen.

Ongelmana pisteytyksessä oli laatutekijöiden ja hinnan yhdistäminen. Tällä hetkellä ei ole käytettävissä sellaisia työkaluja, joiden avulla esimerkiksi ympäristövaikutukset voitaisiin muuttaa kustannuksiksi. Tämän takia urakka-muodoksi sovittiin ns. ranskalainen urakka, jossa urakan hinta on kiinteä. Urakoitsijat kilpailevat siis urakan laajuudesta ja lopputuotteen laadusta, eivät hinnasta. Tarjousten vertailussa painotettiin entistä enemmän lopputuotteen laatuvaatimuksia, jolloin suunnittelijan rooli tarjousten valmistelussa korostui. Suunnittelijoilta vaadittiin kokonaan uusien tekijöiden arviointia lopputuotteen laadun kannalta. Työkaluna suunnittelussa käytettiin samoja mitoitus- tai työkaluohjelmia kuin Valkeakosken kohteessa (APAS - ja Meli - ohjelmat). Lisäksi uutena työkaluohjelmaksi otettiin mukaan Tsarpix -ohjelma tien pituussuuntaisen painuman ennustamiseen.

Liedon mallin arviointi perustui monimuuttuja-analyysiin. Kohteessa sovellettiin ns. QFD (Quality Function Deployment) periaatetta. Sovellettu menetelmä muistuttaa päätöksentekoaanalyysiä ja siinä jokaiselle vertailtavalla tekijälle sovitaan etukäteen oma painoarvonsa. Menettelyssä tarjouksia verrataan kaikkien tekijöiden osalta vain toisiinsa. Taulukossa 4 on esimerkki kolmesta kuvitellusta tarjouksesta. Periaatteen mukaisesti eri tekijöitä voidaan verrata toisiinsa, kunhan niiden painoarvot on valittu tavoitteiden mukaisesti. Kaikille tarjoukselle annetaan keskinäiseen vertailuun perustuva arvo. Jokaisen rivin arvojen summan tulee olla sama luku, esimerkiksi 1. Tekijöiden painoarvot ja arvot kerrotaan keskenään ja summataan tarjouksittain. Paras tarjous on sillä, joka saa suurimmat yhteispisteet eli tässä esimerkissä se on tarjous 3.

Suurin painoarvo Liedon kohteessa annettiin päällysrakenteen laadulle. Päällysrakenteiden laadun vertailussa painotettiin päällysrakenteen pitkäikäisyyttä sekä kulutuskestävyyttä. Päällysrakenteen laadun painoarvo asetettiin suureksi riippumatta siitä, että päällysteen merkitys itse tien arvioituun suurimpaan toimivuusongelmaan - pituus- ja poikkisuuntaisen suuntaisen epätasaisuuteen - arvioitiin vaikutukseltaan pieneksi. Päällysteen uusiminen arvioitiin kuitenkin kustannusvaikutukseltaan merkittäväksi. Rakenn-

teen pinnan tasaisuuslaadun vertailussa lähdettiin siitä, että pahimmat odotettavissa olevat epätasaisuudet poistettaisiin. Tavoitteena oli, että suunnittelujakson aikana (30 v.) tie olisi mahdollisimman homogeenisesti tasainen eli tien pinnan pituussuuntainen "rauhattomuus" olisi koko tieosuudella mahdollisimman yhtäläinen. Käytännössä tämä tarkoitti sitä, että suositittiin tarjouksia, joissa esitettiin useita pienehköjä toimenpiteitä harvojen laajempien sijaan.

Taulukko 3. Liedon kohteen tarjousten vertailuperiaate, esimerkki.

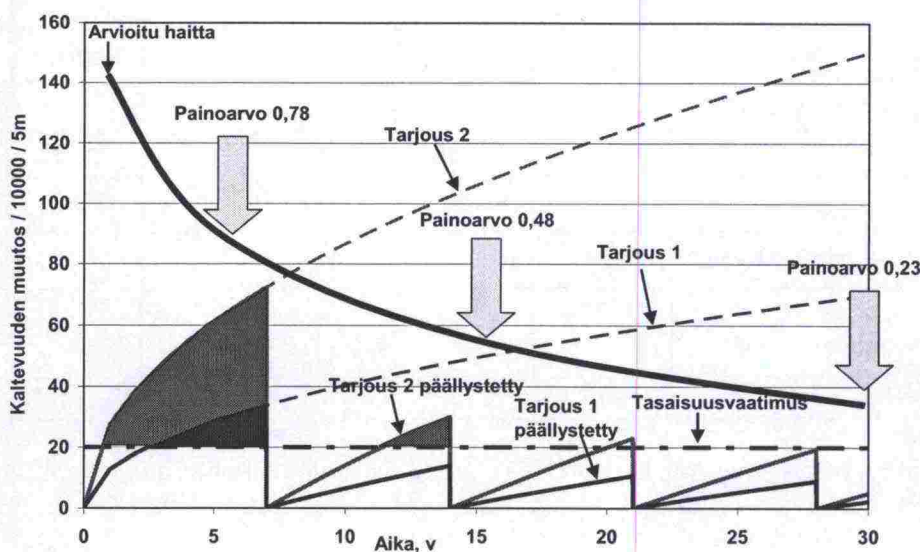
Vertailutekijä	Tarjous 1	Tarjous 2	Tarjous 3	Summa	Painoarvo %
Päällysrakenteen laatu	0,23	0,31	0,46	= 1	40
Tasaisuuslaatu	0,38	0,365	0,255	= 1	25
Muut laatuasteet	0,35	0,25	0,4	= 1	20
Ympäristövaikutukset	0,4	0,4	0,2	= 1	10
Liikenteen haittavaikutukset	0,2	0,3	0,5	=1	5
Yhteensä	30,7	32,03	37,27	100	100

Painoarvojen valinnassa pohdittiin osatekijöiden vaikutusta elinkaaritalouteen. Selvitysten mukaan tällä hetkellä ei ole olemassa selvää tapaa, jossa eri tekijöiden vaikutus koko rakenteen elinkaaritaloudellisuuteen pystyttäisiin luotettavasti arvioimaan. Tämän hetkisen käsityksen mukaan painoarvojen valinta tulee tehdä kohteittain siten, että valinnoissa näkyy ko. kohteen tyyppilliset vaikuttavat tekijät (esim. painuma- tai routavauriot). Painotuksessa otettiin huomioon myös eri rakenneosien suhteelliset kustannusosuudet. Tulvaisuuden elinkarihankkeiden kannalta olisi erittäin suotavaa, että myös tien pinnan pituus- ja poikkisuuntaisen epätasaisuuden haittakustannukset olisivat aidosti ja yhteismitallisesti rahassa asetettavissa eikä keinotekoisin painotuskertoimiin tarvitsisi turvautua. On huomattava, että juuri toimivuusraja-arvojen sääntelyllä Tiehallinto itse vaikuttaa merkittävimmin tieverkkotasolla elinkarikustannuksiin. Hanketasoisesti määrättävillä toimenpideraja-arvoilla taikka painotusmenettelyillä talousvaikutukset ovat marginaalisia verrattuina tietyypeittäinen asetettuihin ohjausarvoihin.

Liedon mallissa tarjouksessa määritettiin koko tieosuudelle suunnittelussa tavoiteltava tasaisuusvaatimus. Tasaisuuslaadun arviointia varten kohteesta valittiin 11 painumavauriokohtaa, jotka oli asetettu tärkeysjärjestykseen. Urakoitsijan piti valita 0 - 11 korjattavaa kohdetta ja arvioida korjauksen vaikutus tasaisuuteen kolmena ajankohtana: 5, 15 ja 30 vuotta kunnostamisen jälkeen. Urakoitsijan piti ilmoittaa tarjouksessaan jokaisesta kohteesta suurin kaltevuudenmuutos toimenpiteen jälkeen, jonka toteutumiseen hän myös sitoutui koko takuuajan. Nämä kaltevuudenmuutokset laskettiin sähköisten vastausluotauksien, vesipitoisuuksien ja ödometrikokeiden tuloksista TSARPIX -ohjelmalla, joita täydennettiin perinteisillä painumalaskelmilla.

Painumaa ja painumaeroja pienentävinä toimenpiteinä hyväksyttiin pohjavahvistusratkaisujen lisäksi tasauksen muutos, jyrskintää tai muita painumien suuruuteen vaikuttavia toimenpiteitä. Vertailtaville kolmelle kaltevuudenmuutoksen tarkasteluajankohdalle on kehitetty haitan painoarvot, joiden mukaan

nopeasti toimenpiteiden jälkeen tapahtuvat painumaerot ovat merkityksellään haitallisempia kuin myöhemmin ja hitaammin tapahtuvat (kuva 7). Tämän arvottamisperiaatteen lähtökohtana on se, että nopeasti tapahtuvat painumaerot ovat tieliikenteen häirtana kauemmin ja suurempina kuin hitaasti kehittyvät ja vasta myöhemmin haitalliseksi muodostuvat painumaerot. Eri ajankohtien painumaerojen painokertoimet on määritetty haitan "diskonttauksen" perusteella ja olettamalla, että painumien ja painumaerojen kasvulla on pyrkimys rauhoittua ajan neliöjuuren suhteen.



Kuva 7. Haitan painoarvojen määrittäminen. Esimerkki.

Kuvan 7 esimerkissä on esitetty kaksi tarjousvaihtoehtoa. Tarjouksessa 2 tehdään vain päällystys, jolloin rakenne jatkaa painumistaan kuten ennen päällystämistä pienentyen neliöjuuriaika-funktiona. Tarjouksessa 1 on tiepengerä kevennetty, jolloin penger jatkaa painumista, mutta sen kokonaispainuma pienenee puoleen. Haitan painoarvojen laskussa arvioitiin, että rakenne päällystetään 7 vuoden välein 40 mm päällysteellä, jolloin päällystämisen välillä tapahtuvat epätasaisuudet voidaan olettaa pääosin poistuvan. Näin tarjouksessa 1 tasaisuusvaatimus ylitetään vain ensimmäisen päällystyskierron aikana. Sitä vastoin tarjouksessa 2 tasaisuusvaatimus ylittyy kahdessa päällystyskierrossa. Tarkastelun mukaisessa tapauksessa tien epätasaisuus on suurinta ja haitallisinta tarkastelujakson alussa, jonka takia alkuvaiheen epätasaisuudelle annettiin suurempi painoarvo.

Vertailumenetelmässä eri ajankohtina (5, 15 ja 30 vuotta) tarjotuista toimenpiteistä seuraavat aikakohtaiset kaltevuudenmuutokset kerrottiin painoarvoilla ja summattiin kohteittain yhteen. Kohteiden summista laskettiin keskiarvo (esimerkki taulukossa 5). Alun perin tavoitteena oli laskea tuloksista myös keskihajonta. Koelaskelmien perusteella kuitenkin päädyttiin arvioon, että keskihajonnan käyttäminen mahdollisti väärinkäytökset, joten siitä luovuttiin. Keskihajonnan käyttö olisi mahdollista, jos tilaaja pystyy etukäteen esittämään kohteelle nykyisen tasauksen mukaisen painuma-arvion. Näin urakoitsijat olisivat pystyneet laskemaan toimenpiteidensä vaikutuksen verrattuna esitettyyn perustilanteeseen. Taulukossa 5 suurimman keskiarvon sai se tarjoaja, jonka epätasaisuusriski oli suurin. Tulos käännettiin positiiviseksi laatu-

pisteiksi siten, että pienimmän keskiarvon saanut tarjoaja sai suurimmat laatu-
pisteet.

*Taulukko 4. Esimerkki suurimmista kaltevuudenmuutoksien arvioinnista yhden
tarjouksen osalta.*

Tarkasteluaika/ paaluväli	vuosi 5	vuosi 15	vuosi 30	Kohteittain painotettu summa
Painoarvo	0,78	0,48	0,23	
4800 - 5200	0.002	0.0025	0.003	0.00345
2950 - 3240	0.001	0.0015	0.002	0.002
7700 - 8100	0.001	0.0015	0.002	0.002
Painotettujen summien keskiarvo				0.0025

Liedon kohteessa ranskalaiseen urakkaan sisällytettiin selvyiden vuoksi
myös kokonaisurakkatyyppejä osia kuten kolmen ylimenevän sillan korjaus-
työt. Näin vältettiin arviointiongelmia, jotka aiheutuvat hinnalla kilpailtavan
kokonaisvastuu- ja laadulla kilpailtavan ST -osoiden yhdistämisestä. Raha-
talouden ja laadun yhdistäminen olisi avannut mahdollisuuden "pelata" nii-
den suhteilla.

Tarjouspyyntöjen valmisteluvaiheessa jouduttiin harkitsemaan, voidaanko
elinkaariarviointia (Meli -ohjelmaa) käyttää tarjousten ympäristövaikutusten
arvioinnissa. Julkisten hankintojen ympäristöoppaassa /Nissinen, 2004/ on
näet esitetty, ettei kuljetusmatkan pituutta voida käyttää arviointiperusteena
julkisissa hankinnoissa. Tulkinta perustuu siihen, että kuljetusmatkojen käyt-
tö arviointiperusteena voidaan tulkita syrjiväksi ja tavaroiden vapaata liikku-
mista estäväksi tekijäksi. Kuljetusmatka kuitenkin vaikuttaa olennaisesti tie-
rakentamisen ympäristövaikutuksiin, eikä sitä tämän perusteella voida jättää
pois elinkaaritarkastelusta. Asiasta pyydettiin Suomen ympäristökeskuksen
(Ari Nissinen, toukokuu 2004) kannanotto ja tulkinta. Kannanotossa katsot-
tiin, että koska arvioinnin kohteena ei ole itse kuljetusmatka, vaan kuljetus-
matkojen pituus, joka arvioidaan osana ympäristövaikutuksia, voidaan kulje-
tusten aiheuttamat ympäristökuormitukset sisällyttää tarkasteluun. Tulkinta
ei ollut täysin kiistaton, mutta sen mukaan Meli -ohjelmaa ja sen tuloksia
voidaan tällaisissa tapauksissa käyttää hankintojen vertailutekijänä.

Tarjousten vertailussa oli mukana kolme tarjousta. Tarjousten arviointi pe-
rustui pääosin etukäteen sovittuihin laskentamenettelyihin. Vertailu oli siksi
suhteellisen yksinkertaista, eikä se sisältänyt kovinkaan montaa subjektiiv-
isesti arvioitavaa kohtaa. Etukäteen oli pelättävissä, että tarjousten erot olisi-
vat hyvin pieniä ja herkkiä muutoksille. Tässä tapauksessa ei näin käynyt,
vaan yksi tarjous oli selvästi muita laadukkaampi tarjottujen rakenteiden
osalta. Tarjouksia vertailtaessa havaittiin, että voittaneen tarjouksen suunnit-
telussa oli ymmärretty hyvin tarjouspyynnön henki. Aitoon elinkaariperuste-
seen hankintaan siirtyminen edellyttää myös tarjoajalta tämän "hengen" oi-
valtamista.

5 KOKEMUKSET TARJOUSTEN VALMISTELUSTA JA VERTAILUSTA

5.1 Tarjouslaskenta

Tarjouslaskentoihin osallistuneita urakoitsijoita ja heidän suunnittelijoitaan haastateltiin tarjousten vertailun jälkeen. Haastattelulla pyrittiin selvittämään laskijoiden kokemuksia käytetyistä työkaluista ja vertailusysteemistä. Liitteessä 2 on esitetty eri työkaluihin liittyvät kommentit.

Valkeakoski (Mt307):

Suunnittelu ja muu tarjouksen valmistelu muistutti tavanomaista, joten sitä ei koettu tavanomaista suuremmaksi ongelmaksi. Kokemukset eri työkalujen käytettävyydestä on esitetty luvussa 3 työkalujen esittelyn yhteydessä. Joidenkin suunnittelijoiden mielestä jo Valkeakoskenkin kohteessa oli liian monta uutta tekijää yhtä aikaa, eikä niitä pysty kerralla omaksumaan.

Lieto (Vt9):

Suunnittelun osuus oli merkittävästi laajempi kuin tavanomaisessa tarjouksessa. Erityisesti lisätyötä suunnittelijoille teettivät tarjousvaiheen alussa epämääräiset ja virheelliset lähtötiedot. Kun valmisteluajataulu oli muutenkin tiukka, lähtötietojen tarkastamiseen meni kohtuuttomasti aikaa ja se koettiin turhauttavaksi. Esimerkiksi eri mittauksen yhdistäminen samaan paalutukseen aiheutti tarpeetonta lisätyötä. Lisäksi todettiin, että laserskannauksen tarkkuus ei riittänyt rakenteen parantamisen suunnitteluun päällysteen massalaskentaa varten.

Toiset tarjoajat pitivät esitettyä vertailusysteemiä toimivana, toiset taas olisivat halunneet, että hinta olisi ollut mukana. Suunnittelijan työ määrä oli niin suuri, että menettelyn ei arvioitu soveltuvan pieniin kohteisiin. Työkalujen osalta todettiin hyväksi systeemiksi se, että kaikilla tarjoajilla on samat ohjelmat ja samat lähtötiedot. Moitetta urakoitsijat ja suunnittelijat antoivat useista tarjouksen lisäksi kirjasta ja jättöpäivien toistuvasta siirtämisestä. Suunnittelijoille laajemmat elinkaaritarkastelut lisäävät työtä, mutta myös suovat suuremman roolin parempilaatuisen tarjouksen valmistelemisessa ja mahdollisuuden vaikuttaa tarjouksen hyväksymiseen. Osa suunnittelijoista koki, että vertailun painotukset eivät olleet oikeita ja kohde ei ollut oikein valittu. Kohteessa ei loppujen lopuksi ollutkaan tarvetta tehdä pohjanvahvistuksia, vaikka tarjouspyynnössä oli asiaa painotettu. Lisäksi koettiin, että valitut painuman tarkasteluvälit eivät kärsineet merkittävästä painumavaurioista. Toisaalta joitakin pahemmin painumista kärsiviä kohteita ei ollut mukana tarkastelussa. Jälkikäteen on todettavissa, että kritiikki näiltä osin on perusteltua. Toimivuusvaatimuspainotusten oikea painottaminen edellyttää, että jo tarjouspyynnön valmisteluvaiheessa myös tarjouspyynnön tekijä pystyy riittäväällä tarkkuudella näkemään tien ongelmat. Käytännössä tämä tarkoittaa sitä, että tilaajakin joutuu elinkaarihankkeissa panostamaan hankesuunnitteluun suhteellisen paljon.

Jotkut suunnittelijat kokivat elinkaaritarkastelujen mukaanoton laajenemisen vauhdin liian hitaaksi, toiset taas totesivat, etteivät meinaa pysyä nykyisessä mukana. Urakoitsijoiden mielestä urakan toteutuksen välitavoitteiden asettaminen olisi ollut paikallaan. Niiden puuttuminen loi mahdollisuuden pe-

lata ei-toivottavilla työjärjestyksillä ja viivästymisillä. Lisäksi urakoitsijoita häiritsi se, että osa lisäkirjeistä ja -kyselyistä saapui ei-virallista tietä urakoitsijalle. Urakoitsijat esittivät lisätoivomuksena, että Tiehallinto laatisi tietyn, urakatyyppikohtaisen, kaikissa piireissä sovellettavan ohjeen urakoiden tarjous- ja loppuselvitysvaiheessa esitettävistä dokumenteista ja niiden sisällöstä sekä järjestyksestä. Tämä säästäisi tarjouskustannuksia ja alentaisi kynnystä osallistua tarjouksiin.

5.2 Tarjouskilpailuun osallistuminen

Tarjouspyynnön saaneita, mutta tarjousta jättämättömiä urakoitsijoita haastateltiin myös. Haastattelulla selvitettiin, miksi urakoitsijat eivät olleet jättäneet tarjousta.

Valkeakoski (Mt307): Ensimmäisessä pilot -kohteessa neljä urakoitsijaa ei ollut jättänyt tarjousta. Vain kahdelta urakoitsijalta saatiin selvitys siitä, miksi he eivät olleet osallistuneet tarjouskilpailuun. Syinä olivat samaan aikaan tarjouslaskennassa olleet useat muut tarjoukset, jotka aiheuttivat urakoitsijoille aikatauluongelmia sekä pulan suunnittelijoista.

Lieto (Vt9): Tarjouspyyntö toimitettiin seitsemälle urakoitsijalle. Neljä heistä ei osallistunut tarjoukseen. Tarjoukseen osallistumattomuuden tärkeimmiksi syiksi todettiin seuraavat: resurssipula sekä urakoinnissa että suunnittelussa ja korkeat tarjouskustannukset.

5.3 Tarjouspyyntöjen valmistelu ja tarjousten arviointi

Myös tarjouspyyntöjen valmisteluun ja tarjousten arviointiin osallistuneita Tiehallinnon ja VTT:n asiantuntijoita haastateltiin.

Valkeakoski (Mt307):

Tiehallinnon mukaan tarjousten valmisteluvaiheessa olisi pitänyt tehdä tarkempi herkkyystarkastelu eri osatekijöiden vaikutuksesta. Meli -ohjelmassa ei ollut kaikkia materiaaliveikkoja, siksi urakoitsijat tulkitivat joitakin ratkaisuja edukseen. Lisäksi osa urakoitsijoista ei ollut ymmärtänyt ympäristövaikutusten merkitystä. Liikenteen haittakustannusten laskenta perustui verkkotason tietoihin. Tätä pidettiin liian yleisenä. Käyttäjät olivat pääosin tyytyväisiä VTT:n Extranet -ympäristössä tapahtuneeseen tietojen siirtämiseen. Valittu pilot -kohde oli siinä mielessä huono, että sen puutteelliset lähtötiedot eivät soveltuneet laadukkaaseen tarjoamiseen. Lähtötietoaineiston tulisi sisältää myös jonkinlaisen massalaskennan, ettei siihen kuluisi kohtuuttomasti suunnittelu-aikaa, vaan aikaa jäisi enemmän varsinaisten rakenteiden suunnittelulle.

VTT:n kokemusten mukaan tarjousten arvioinnissa olisi järkevää keskittyä oleellisten asioiden käsittelyyn ja miettiä etukäteen tarkemmin pisteytysperusteita ja skaalaa. Ympäristöpisteiden erottaminen tarjoushinnasta lienee myös järkevää siihen asti kunnes ympäristötekijät voidaan arvioida rahassa. Tarjousten arviointi nykyisellään kaiken kaikkiaan on varsin aikaa vievä ja epäselvä systeemi, joka perustuu enemmän 'minusta tuntuu' tekijöihin kuin laskettaviin suureisiin.

Tiehallinto esitti ympäristövaikutustarkastelun kehitystarpeita Valkeakosken kohteen jälkeen. Heidän mukaansa on varmistettava, ettei laskentamalli ohjaa kehitystä siten, että tien rakenteet eivät täytä teknisiä tuotevaatimuksia. Tämä vaara on olemassa, mikäli laatutekijöitä ei oteta tarkasteluun mukaan, sillä mitä vähemmän "kiviainesta" käytetään, sitä vähemmän syntyy ympäristövaikutuksia. Ongelma voidaan välttää tiukemmilla laatuvaatimuksilla ja/tai tarkastelemalla tierakennetta pitemmällä aikavälillä, jolloin tulevat rakenteelliset toimenpiteet huomioidaan tarkastelussa. Todettiin myös, että urakoitsijoille olisi pitänyt järjestää erillinen koulutustilaisuus Meli -ohjelman käytöstä ja tulkinnoista. Lisäksi ohjelmasta todettiin puuttuvan vielä materiaaleja / rakenneratkaisuja.

Lieto (Vt9):

Liedon kohteen arviointiperusteet koettiin pääosin oikeiksi. Esitettyä vertailutapaa pidettiin pääosin hyvänä. Osa valmistelijoista kuitenkin näki, että hinnan olisi pitänyt olla mukana yhtenä arvioitavana tekijänä. Uusien tekijöiden ottaminen mukaan hämmensi tarjouspyyntöasiakirjojen valmistelua, ja jotkut ennestään tutut asiat saattoivat jäädä liian pienelle huomiolle. Lisäksi uusien vertailtavien tekijöiden vaikutuksen arviointi oli hankalaa. Valmistelussa ongelmia tuottivat lisäpohjatutkimusten tulosten viipyminen ja muiden lähtötietojen vertailukelpoisuus. Lähtötietojen valmistelu olisi vaatinut kokonaan oman suunnitteluvaiheensa, jossa käytettävissä olevat tiedot olisi koottu, luotettavuus olisi arvioitu, ja ne olisi sijoitettu toisiinsa nähden samaan koordinaatistoon / paalutukseen. Samassa tietoa olisi täydennetty nyt tarjousten valmisteluvaiheessa tehdyillä tutkimuksilla. Tarjousten vertailuvaihe oli suhteellisen selvä, koska se perustui pääosin etukäteen määrittätyihin laskennallisesti määritettäviin arvoihin eikä sisältänyt kuin muutamia subjektiivisesti määritettäviä tekijöitä.

Molempien kohteiden tarjouspyyntövalmisteluissa paljon pohdiskelua ja työtä vaati pelko siitä, että uusissa arviointitavoissa olisi merkittäviä "porsaanreikiä", jotka mahdollistaisivat "pelaajien" ansiottoman menestymisen. Tämä pelko jäykistää menettelytapojen aitoa kehittämistä merkittävällä tavalla. Tavoittena on löytää jokin yleinen menettelytapa, jolla tunnistettu "pelaaminen" voitaisiin saada estetyksi ilman, että tarjouspyyntöä niiden takia tarvitsisi tehdä tarpeettoman vaikeaselkoiseksi ja jäykäksi. Toinen perusongelma on varautuminen innovatiivisten ratkaisujen hyväksymiseen. Koska tarjouspyyntövaiheessa ei periaatteessa voida tietää mitä rakenneratkaisuehdotuksia tarjouksiin sisältyy, tulee periaatteessa varautua "kaikkeen". Tällöin kriittisiksi tulevat esimerkiksi ohjelmat, joissa oleva informaatio on ratkaisusidonnaista (esimerkiksi ympäristövaikutusten arvioinnissa tai mitoitusohjelmissa materiaalitietoja ei etukäteen ole jne). Annettaessa arviointiohjelma ennakoon käyttöön ja sidottaessa arviointi nimettyjen ohjelmien käyttöön, joudutaan tekemään olettamus, että kaikki ratkaisut ovat niillä arvioitavissa. Mikäli näin ei ole (esimerkiksi arvioidaan APASia lujitteilla vahvistun päällysrakenteen käyttöikä, mikä toimintamekanismin eroista johtuen ei ole mahdollista aidosti), jäävät innovatiiviset ratkaisut helposti jo aikataulusyistä vaille tasatarvoista kohtelua. Tällaisia tilanteita varten tulisi voida kehittää uudenlaisia arviointimenettelyjä.

6 MENETTELYN ARVIOINTI JA KEHITYSTARPEET

6.1 Menettelyn arviointi

Lähtötiedot, niiden laatu ja laajuus:

Elinkaaritarkastelut edellyttävät nykyisiä **laajempia ja laadukkaampia lähtötietoja**. Tarkasteluja voidaan luotettavasti tehdä vain, mikäli kohteesta on olemassa riittävän monipuolinen, oikeaksi todettu ja ajan tasalla pidetty lähtötietoaineisto. Tiehallinnolla ei ole käytettävissä erillistä valmistelurahastoa, josta voitaisiin rahoittaa lähitulevaisuudessa toteutettavien kohteiden lähtötietojen hankintaa ja yhtenäistämistä ennen tarjouspyyntövalmistelua. Rakenteen kunnon lähtötietojen hankinta voi viedä vuosia, kuten routanousutietojen kerääminen jne. Tarjouspyyntöä valmistelevan suunnittelun tulee sisältää olemassa olevien lähtötietojen koonnin, niiden luotettavuuden arvioinnin sekä lähtötietojen sijaintitietojen yhtenäistämisen, jolloin kaikki lähtötiedot syötetään joko xyz -koordinaatistoon tai sidotaan samaan paalutukseen. Näin kaikkien tarjoajien ei tarjousvaiheessa tarvitse arvioida lähtötietojen luotettavuutta ja/tai sijaintia. Näin tehden voidaan selvittää etukäteen lähtötietoihin liittyviä riskejä, eli sitä kuka vastaa lähtötietojen oikeellisuudesta tai niiden puuttumisesta. Luvussa 6.2 on esitetty yksityiskohtaisemmin vaadittavia lähtötietoja sekä mitoitusmallien ja -ohjelmien tilanne.

ST -urakoiden suunnitelma-aineisto perustuu pääosin tiesuunnitelma tasoi-siin asiakirjoihin tai erilaisiin kunnostussuunnitelmiin. Näissä suunnitelmissa on esitetty teiden vaakasuuntainen sijainti melko tarkkaan ja pystysuuntaiselle sijainnille voidaan antaa rajoitettu vaihteluväli (esimerkiksi ± 1 m). Tien pysty- ja vaakasuuntaisen sijainnin muuntelua rajoittaa yleensä tiesuunnitelman pohjalta tehty tiealueen raja. Rajausten muuttaminen on hankalaa, eikä siihen yleensä ryhdytä vähäisistä syistä. Tarjousten laskennassa merkittävin aika suunnittelijalta kuluu erilaisten massojen määrän laskemiseen ja varsinaiseen rakennekerrosten optimointiin. Siksi suunnitteluun jäävä aika on varsin vähäinen. Tämä johtuu siitä, että urakoitsijat yleensä edellyttävät suunnittelijalta tarkkoja massatietoja pienentääkseen massamääriin liittyviä riskejä.

VTT:n ehdotus on, että tilaaja laatii ST -urakan valmisteluvaiheessa tiesuunnitelman täydennyssuunnitelman tai kunnostussuunnitelman täydennyksen, johon on koottu lähtötiedot, tehdyt mittaukset ja muut asiakirjat. Suunnitelma sisältää kuvauksen kohteesta, arvioinnin lähtötietojen luotettavuudesta tai peräti alalle hyväksytyn luokittelun mukaisen luotettavuus/laatuluokituksen sekä mahdollisesti myös ensimmäisen vaiheen laskennan massoista, vrt. talonrakennuksen menettely "Bills of quantities". Urakoitsija voi tarjouksessaan muuttaa esitettyjä massatietoja, mutta kaikilla tarjoajilla on ainakin tietty referenssitieto massoista. Näin suunnittelijan aikaa vapautuu enemmän rakenteiden mitoitukselle, optimoinnille ja innovaatioille. Esitetty toimintatapa voidaan toteuttaa myös siten, että tilaaja siirtää osittain vastuun rakennuttamisesta suunnittelijalle, joka sitten pyytää tarjouspyynnöt työsuorituksesta. Ongelmana esitetyssä ratkaisussa on toki se, että suunnittelijan kyky ottaa riskejä on varsin vähäinen.

Vt9:n tapauksessa (Liedon kohde) sovellettu ranskalainen urakka vaatii tilaajalta lähtötietojen lisäksi suurempaa massa- ja hintatietoisuutta kuin tavanomainen hinnan sisältävä urakointi. Tällä hetkellä on hankalaa soveltaa Vt9:n tapaisia arviointiperusteita Valkeakosken tyyppisissä kohteissa, joissa vaurioitumistavat riippuvat roudasta ja epämääräisistä rakennekerrostiedoista. Ongelmaa voidaan pienentää kehittämällä edelleen jatkuvia mittausmenetelmiä kuvaamaan myös routivien ja huonosti kantavien rakennekerrosten ominaisuuksia.

Käyttöikämitoitus - suunnittelijan ja urakoitsijan roolit:

Elinkaaritarkastelujen oleellinen osa on rakenteen teknistä toimivuutta kuvaava käyttöikämitoitus. **Käyttöikämitoituksen kehittäminen on aloitettu** ja lähitulevaisuudessa sitä voidaan soveltaa perinteisten materiaalien osalta. Mitoitukseen osana tarvitaan myös eri materiaalien turmeltumismallien sekä parametrisoituvien käyttäytymismallien kehittämistä. Rakenteen toimivuus ja sen käyttöiän määrittäminen ovat osa suunnittelutyötä. Kun siis halutaan parantaa rakenteiden elinkaarilaatua, on suunnittelu merkittävässä asemassa. **Elinkaarilaadun kannalta on tärkeää, että suunnittelijan roolia korostetaan.** Yksi tapa korostaa suunnittelijan roolia on kehittää urakoitsijoiden ja suunnittelijoiden välistä yhteistyötä entistä kiinteämmäksi.

Riskit ja niiden jakamisperiaatteet:

Rakentamisessa **oleellisesti hintaan vaikuttava tekijä on riskien jakamisperiaate.** Käytännössä infrarakentamisen riskit kohdistuvat lähtötietoihin ja niiden laatuun, työsuoritukseen, materiaalien laatuun ja aikataulutekijöihin. Kun lähtötietojen määrä on vähäinen ja niiden luotettavuus on huono, nousee se urakan riskitasoa ja silloin myös sen hintaa. Lisäämällä lähtötietojen laajuutta ja määrää voidaan vaikuttaa myös urakoiden hintatasoon.

Elinkaarikustannukset:

Elinkaaritarkastelujen oleellinen tekijä on kyky arvioida eri ratkaisujen elinkaarikustannuksia (LCC). Ensimmäisessä pilot-kohteessa ei aikataulusyistä pystytty kokeilemaan LCC laskentoja. Toisessa pilotissa lähdettiin siitä ajattelusta, että elinkaarikustannukset on saatava osaksi tarkastelua. LCC laskennan yleinen periaate on, että tarkastelujakson sekä tienpitäjän että tienkäyttäjän toimenpide- ja kunnossapitokustannukset muutetaan nykyarvoiksi kustannuksiksi ja summataan toimenpiteen investointikustannuksiin. Jos vertaillaan toimenpiteitä, joiden käyttöiät ovat eri pituisia, voidaan niitä verrata keskenään laskemalla vuosikustannukset, jotka ovat elinkaarikustannukset jaettuna tarkastelujakson pituudella /Tammirinne 2002/. **Vuosikustannuslaskennan perusteella voidaan etsiä elinkaarikustannuksiltaan optimaalista ratkaisua.**

Elinkaarikustannuslaskennan tuloksiin vaikuttaa merkittävästi valittu korkokanta sekä tarkastelujakso. Yleensä tierakenteilla on edullista tarkastella riittävän pitkää ajanjaksoa (esimerkiksi 25 - 30 vuotta), jotta rakenteen vaikeasti määritettävällä jäännösarvolla ei olisi suurta merkitystä tarkasteluihin.

Toisessakaan kohteessa ei voitu soveltaa elinkaarikustannusten laskentaperiaatetta sellaisenaan, koska urakan takuu-aika oli viisi vuotta ja jo yhden päällystämisen odotettu elinikä oli merkittävästi pidempi (8 - 10 vuotta). Mikäli tarkastelujaksona olisi käytetty esimerkiksi 20 vuotta, olisi tarkasteluissa jouduttu päättämään, mitä kunnossapitotoimenpiteitä tehdään ensimmäisen päällystyskierron jälkeen ja mikä eri rakenteiden jäännösarvo/kuntotaso 20 vuoden jälkeen. Valmisteluvaiheessa todettiin, että takuuajan ylittävien, vaikeasti ennustettavien toimenpiteiden sekä urakoitsijoista riippumattomien kustannusten muuttaminen elinkaarikustannuksiksi on sekä epävarmaa että epäoikeudenmukaista.

ST -urakoiden tarjousten vertailussa, joissa on lyhyt takuu-aika (yleensä 3 - 7 vuotta), on siis vaikeaa soveltaa LCC -laskentaperiaatetta suoraan. Tällöin on - ainakin alkuvaiheessa - tyydyttävä erilaisiin pisteytysysteemeihin, jotta voidaan arvioida rakenteen käyttäytymistä myös takuuajan jälkeen. Rakenteiden käytön aikana havaittavien vaurioiden ja laadun haitta-vaikutuksista ei ole olemassa kattavia tietoja; pisteytysmenetelmien kehittäminen on toistaiseksi perustunutkin enemmän asiantuntija-arviointiin kuin varsinaisiin tutkimustuloksiin. Eri suunnitelmavaiheissa ja pitkäaikaisissa hankintamenetelmissä LCC:n soveltaminen lienee yksinkertaisempaa.

Yhdistämällä pisteytysysteemit päätöksenteossa käytettäviin monimuuttuja-analyysihin, saadaan tarjousten vertailusta moniarvoisempi. Vertailtavien tekijöihin voidaan sisällyttää hinta sekä erilaisia ympäristö- ja laatutekijöitä.

Ympäristövaikutusten ja muiden ei-rahallisten tekijöiden arvottaminen:

Elinkaaritarkastelujen perusongelma on, kuinka yhdistetään hinta toimivuuteen, laatuun ja ympäristöarvioihin optimoimalla samalla infrarakenteen elinkaarilaatua. Eli kuinka eri "laatuaset" osatekijät muutetaan vertailukelpoisiksi tekijöiksi. **Tavanomaisesti tämä on tehty muuttamalla laatu ja ympäristö hinnaksi erilaisin prosenttiarvoihin (Valkeakosken kohde). Toinen tapa on pisteyttää kaikki tai osa tekijöistä (Liedon kohde).** Riskinä erilaisissa pisteytysysteemeissä on se, että kun tarkastellaan rinnan sekä hintaa että laatua, saattaa syntyä tilanteita, joissa urakoitsija voi pelata eri osatekijöiden suhteilla. Tämän vuoksi Liedon kohteessa päädyttiin hinnan vakiointiin.

Tällä hetkellä Suomessa ei ole yleisesti hyväksyttyä tapaa arvioida ympäristövaikutusten rahallisia vaikutuksia. Jotta tällaista ympäristöarvojen muuttamista samoihin yksiköihin, esimerkiksi rahaksi, voidaan tehdä, tarvitaan joko arvojen monetarisointi taikka muu indikointitapa, ns. ekoindikaattorijärjestelmä. Vuoden 2004 lopussa käynnistyi VTT ja SYKE:en yhteinen projekti, jonka tavoitteena on luoda väylärakentamiseen soveltuva yleisesti hyväksytty ekoindikaattorijärjestelmä. Järjestelmällä pyritään kuvaamaan sitä, mitkä ympäristöarvot koetaan tärkeäksi kussakin suunnitelma-, rakentamis- ja käyttövaiheessa; järjestelmän tulee lisäksi olla sellainen, että sitä voidaan muuttaa jatkuvasti tiedon lisääntyessä ja yhteiskunnan arvojen muuttuessa.

Ekoindikaattoreihin verrattavaa järjestelmää kaivattaisiin urakoiden arviointiin myös joidenkin laatutekijöiden osalle. Urakoiden toteuttajien referenssit voidaan pääosin korvata erilaisin esivalinnoin, jolloin kaikilla tarjoajilla on valmiudet toteuttaa toimenpide. Toimenpiteestä aiheutuva haitta voidaan myös suhteellisen yksinkertaisesti muuttaa rahaksi esimerkiksi kaistanvuokrausperiaatteella. Sitä vastoin hankalasti rahaksi muutettavia laatutekijöitä

ovat rakentamisen toiminta- ja laatusuunnitelma sekä rakenteiden toimivuus. Rakenteiden teknistä toimivuutta voitaneen lähitulevaisuudessa arvioida käyttöikämitoituksen perusteella. Ongelmana ovat muiden toimivuuden osatekijöiden kuten esteettisyyden, turvallisuuden, käyttömukavuuden jne. arviointi.

Elinkaaritarkastelut voivat osittain sovellettuina aiheuttaa ristiriitaisia ja harhaan johtavia tuloksia. Esimerkiksi ohuilla rakennekerroksilla, jotka eivät välttämättä täytä laatuvaatimuksia käyttöiän suhteen, saadaan pienemmät ympäristövaikutukset. Elinkaarilaadullisesti edullisimman rakenteen valita edellyttää siis, että vertailu tehdään suhteessa koko rakenteen käyttöiälle, ei vai lyhyelle takuuajan mittaiselle tarkastelujaksolle.

Uusien tarkastelutapojen ja vaatimusten tuominen tarjouksiin edellyttää myös sopimuskäytännön tarkistamista, jotta vältetään sopimustekniset epäselvyydet tai ristiriitaisuudet. Erityiskysymyksenä nousee tällöin esille lähtötietojen oikeellisuus, jos tietojen antamistapaan taikka tulkintaan sisältyy merkittäviä riskejä. Tärkeä ohjaustekijä on myös se, että ympäristövaikutusten, laatu- ja liikenteenhaittakustannuksien toteutumaa voidaan ohjata kannustavin maksuperustein takuuajana.

Tarjousten vertailtavuus:

Tiehallinnon kokemusten mukaan ST -urakointi on laskenut urakoiden hintatasoa noin 10 % ja urakoitsijoiden antamien tietojen perusteella jopa enemmän. Ilmeisesti osa tuosta säästöstä on saavutettu sillä, että urakoitsija pystyy vapaammin järjestelemään työmaan ja siellä tehtävät toimenpiteet. Osa säästöstä tulee myös siitä, että urakoitsija on pystynyt esittämään omia, edullisempia rakenneratkaisujaan. Periaatteessa esitettyjen ratkaisujen tulee olla vastaavaa laatua kuin tarjouspyynnössä on esitetty. Usein esimerkiksi siltojen tyyppiä muutetaan. Tämä muutos on kuitenkin tehtävä siten, että esitetyt oleelliset vaatimukset - esimerkiksi aukkojen pituuden osalta - täyttyvät.

Vaarana on, että tarjousten rakenneratkaisut täyttävät esitetyt vaatimukset, mutta niiden toimivuus (esimerkiksi turvallisuus tai näkyvyys) saattaa olla alhaisempi kuin alkuperäisessä suunnitelmassa oli tavoiteltu. Esitettyjen rakenteiden käyttöikä siis ylittää takuuajan, mutta siihen liittyvät laadulliset riskit saatavat olla suurempia kuin tarjouspyynnössä. Näin esimerkiksi silloin kuin tarjouksessa esitetty paalulaattarakaisu vaihdetaan paaluhatturatkaisuun. **Tällöin eri urakoitsijoiden tarjousten sisällön ja laadun arviointi nykyisin käytetyllä menettelyllä on hankalaa ja epävarmaa.** Hyväksyttävien rakenteiden osalta arvioitsijoiden tulisi siis arvioida myös ratkaisun vaikutusta koko rakenteen käyttöikänsä / elinkaarikustannuksiin. Kun ST -urakoissa hyväksytään tarjouspyynnöstä poikkeavia rakenteita, tilaajan riski rakenteen käyttöiän riittävyydestä kasvaa. Näin erityisesti silloin, kun urakan takuuajaksi on lyhyt. Yksi keino vähentää tätä riskiä on rajata tarjouspyyntöasiakirjassa sallittujen rakenteiden ominaisuuksia. Tämä keino on toisaalta ristiriidassa Tiehallinnon strategian mukaisten innovatiivisten rakenteiden kehittämisen kanssa.

Innovaatioprosessi ja sen kehittäminen:

Yleisesti innovaatioksi voidaan luokitella uusi toimintatapa, päätöksentekojärjestelmä tai uusi tuote. Erityisesti uusien tuotteiden innovaatioprosessi

kestää tyypillisesti vuosia ja edellyttää pitkäaikaista kumppanuutta eri osapuolien kesken. Innovaatioprosessi edellyttää myös määrätietoista työtä. Merkittävimmät tierakenteen innovaatiot tulevaisuudessa liittyvät erilaisiin rakenneratkaisuihin ja materiaalien tuotekehitykseen. **Jotta suunnittelijan, urakoitsijan sekä mahdollisesti materiaalin toimittajan välille voidaan luoda aitoa kumppanuutta, edellyttää se vastuiden ja hyötyjen selkeää ja tasapuolista jakamista.** Se edellyttää useimmiten myös yritysten tutkimus- ja kehitystyö panoksen kasvattamista. Paras tulos saadaan, kun yhdistetään eri alan ihmisiä ja he saadaan heidät sitoutumaan yhteisiin tavoitteisiin. Innovaatioiden syntymistä ei edesauta jatkuva suunnittelun kilpailuttaminen, tiedon salaaminen eikä hankkeen pilkkominen osiin vain taloudellisin perustein. Elinkaaritarkastelujen ja joustavien tuotehyväksyntämenettelyjen avulla voidaan helpottaa innovatiivisten rakenteiden tai tuotteiden käyttöön-ottoa.

Suunnittelu ja jatkuvat mittausmenetelmät:

Elinkaaritarkastelujen kehittämisen kannalta on oleellista, että poikkeileikkauskohtaisesta mitoituksesta voidaan siirtyä jatkuvaan koko tienlinjan kattavaan tasaisuuden arviointiin sekä mittaustekniikoiden että ohjelmistojen kehittymisen ansioita. Esimerkiksi Liedon kohteen painumalaskelmissa tämä toimi hyvin. Tämä mahdollistaa jatkossa toiminnallisten vaatimuksien huomioonottamisen aivan uudella tavalla.

Kelpoisuuden osoittaminen:

ST -urakoissa on yleistä myös se, että rakentaja vastaa rakenteen kelpoisuuden osoittamisesta. Yleensä kelpoisuuden osoittamistavat on esitetty urakoitsijan laatuasiakirjoissa. Tilaajan voi näissä tapauksissa olla ongelmallista puuttua johonkin hänen kannaltaan oleelliseen laadun alitukseen. On tavallista, että urakoitsija toimittaa kelpoisuusmittausten tulokset tilaajalle tiettyin väliajoin esim. kerran kahdessa kuukaudessa. Tässä tapauksessa tilaajan mahdollisuudet vaikuttaa rakentamiseen ovat varsin rajalliset.

Etenemisvauhti:

Infrarakenteen tilaajan on helpompaa pitäytyä nykyisissä suhteellisen yksinkertaisissa hankintamenettelyissä. Jos ja kun halutaan aidosti arvioida hankinnan elinkaarilaatua, ainoa mahdollisuus on pyrkiä määrätietoisesti soveltamaan elinkaaritarkasteluja. Elinkaaritarkastelu-perusteinen hankinta vaatii tilaajalta tai hänen edustajaltaan sekä suunnittelijoilta ja urakoitsijoilta enemmän tietoa ja osaamista kuin tavanomainen hankinta. On siis tarpeen harkita sitä, miten nopeasti edetään. Onko parempi edetä pitkin harppauksin vai pienin askelin? Etuna suurin harppauksin tehtävissä muutoksissa on että, muutosten läpivienti vie vähemmän aikaa. Ongelmana taas voi olla, että tilaajat, urakoitsijat ja suunnittelijat eivät pysy perässä, eikä välttämättä saada aikaan riittävää kilpailua. Toisena ongelmana on se, että molempien osapuolen riskit kasvavat.

Riskiä kasvattavat tarjouspyyntöihin mukaan otettavat uudet tekijät, joiden vaikutuksia ei välttämättä ole muistettu / osattu ottaa huomioon riittävästi sopimuspuolella.

6.2 Elinkaarisuunnittelun työkalujen kehitystarpeita

Aidot ja optimaaliset elinkaarisuunnitelmat edellyttävät laajempia lähtötietoja kuin nykyiset lähtötiedot yleensä ovat. Vanhan rakenteen kuntotila, kuntotilan kehittyminen ajassa ennen toimenpidettä, rakennetiedot, pohjasuhdetiedot sekä oleelliset ympäristörasitusten luokitustiedot tulisivat olla käytössä siinä laajuudessa, että rakenteiden toimivuus voidaan optimoida. Tämä tarkoittaa varsin huomattavan informaatiomäärän tuottamista, keräämistä, järjestämistä ja digitointia. Tiedon keruu ja systematisointi tulisi tehdä jo ennen tarjouspyynnön valmistelua. Kustannustehokkainta olisi, että se, jolla on pääosa tiedoista helpoimmin saatavissa, koordinoi tämän työn – yleensä siis tilaaja. Jotta täydentävä, uusi tieto voitaisiin kerätä järkevästi ja oikein, tielintjan alustava analysointi tulisi aina tehdä hankkeen ongelmien syiden ja ratkaisumahdollisuuksien vaativuuden oikeata diagnostisointia varten. Analysointi pitäisi ainakin ST -urakoissa ja perinteisissä rakennusurakoissa tehdä tilaajan toimesta silläkin uhalla, että mahdollisia erimielisyyksiä lähtötietojen oikeellisuudesta syntyy vielä nykyistekin helpommin. Tämä saattaa edellyttää myös sopimusehtojen kehittämistä paremmin soveltuviksi ST- ja projektinjohtourakoihin.

Lähtötietojen käsittelyä varten pitäisi kehittää paitsi vanhojen lähtötietojen digitalista hallintaa myös uusien mittaustekniikoiden oivaltavaa hyödyntämistä. Kehitettäviä menetelmiä on lueteltu taulukossa 5.

Taulukko 5. Lähtötiedot elinkaarisuunnitteluun. Uusia mahdollisuuksia vanhemmillakin tekniikoilla.

Mittaustapa/-laite	Mitä suureita/asioita	Arviot
Palvelutasomittaus (PTM) -auto	Vanhan rakenteen muutokset ajassa: - uran kehitymisnopeus - IRI:n (5m IRI, IRI4) kehitymisnopeus - sivukaltevuuden tai viettokaltevuuuden kehitymisnopeus - routanousuriski, päällysteen routavaurioriski paikkakohtaisesti (edellyttää mittaustulosten jälkianalysoinnin kehittämistä) - painumaeroriski paikkakohtaisesti (edellyttää mittaustulosten jälkianalysoinnin kehittämistä) - siirtymärakenteiden käyttäytymisen todentaminen	Alunperin PMS -tason työkalu soveltuu jo nykyisiin hanketasoiseen työskentelyyn
Maatutkaus	Päällysrakenteen rakennekerrosten paksuus ja vaihtelut pituus ja poikkisuunnassa. Päällysrakenteen sekä alusrakenteen yläosien epäjatkuvuuskohdat ja niiden syyt.	Kehitys on jo varsin pitkällä. Tulokset tulee saattaa tietoverkkoon paikannettuina. Poikkisuuntainen tutkaus vaatii vielä laiteisto- menetelmäkehitystä.
Maavastusmittaus	Pohjasuhteiden ominaisvastusavaruus, vesipitoisuusavaruus, lujuusavaruus, pohjatutkimustulosten jatkuvuuden työkalu	Mittauksen kustannustehokkuutta edelleen lisättävä. Jälkianalyysityökalut ja tulosten integrointi suunnittelujärjestelmiin ovat pääsoin tekemättä.
Jatkuva pintakantavuusmittaus	Pintakantavuuspuutteiden jatkuvaan paikallistaminen	Useita tekniikoita kokeiltu. Ei ole jostakin syystä yleistynyt käytössä.
Laser- skannaus	3D -tien pinta maastomalliin. Resoluution parantamistarve, jotta päästäisiin tien pinnan tasaisuuden muutosennustamiseen.	Teknologia läpiajovaiheessa. Käyttöikäfunktiossa menetelmän kehitystä odotettava vielä muutamia vuosia.
Matalalentogeofysiikka	Veden liikkeiden ja kertymisen ennusteet. Alusrakennetyypin rakennetavuustasoiseen luokitteluun esimerkiksi teisuunnitelmaa laadittaessa.	Liian karkea käytettäväksi hankesuunnitteluun toistaiseksi.
Monitorointitekniikat (RFID)	Useita mittaussuureita (veden tason, nousut, lämpötilat, jäätyminen, siirtymät, muodonmuutokset jne), joiden langaton käyttö ainetta rikkoen voitaisiin tehdä ennakolta arvioituihin ongelmapisteisiin.	Täsmätietoa, jos osataan kohdentaa edustavasti ennakolta. Odotettavissa mittalaitteiden merkittävä halpeneminen 3...5 vuoden tähtäimellä.
Liikennemittaus pietso-lankatekniikoilla	Ajoneuvojen määrä, ajoneuvotyypit sekä sivuttaisaseaman määrittäminen. Päällysteen väsymismitoituksen, urautumisen sekä päällysrakenteen deformatumisen liikennelähtötietojen keruu sekä toteutumisen (takuu aika, elinkaarihanke) todentamiseen. Jälkiasennusmahdollisuus	Teknologiaa on kokeiltu onnistuneesti vuoden ajan. Jälkianalyysi edellyttää kehittämistä (ajoneuvotunnistus).

Käyttöiän ja toimivuuden ennustamiseen tarvitaan erilaisia mitoitushoelmia ja malleja. Näitä ja niiden nykytilaa on esitetty taulukossa 6.

Taulukko 6. Mitoitusohjelmat ja mallit käyttöiän/toimivuuden ennustamiseen.
(*** käytettävissä yleistetty ohjelma tai mallit, tuotekohtaisesti erilaisia valmiuksia, ** ohjelmia käytössä, ei vakiintunutta mitoitusprosessia taikka mallia, * potentiaalinen ratkaisutapa tiedossa)

Toimivuusominaisuus	Ohjelma/malli	Nykyvalmius
Urautuminen		
nastarengaskuluminen	malli	***
rakennekerrosten deformatuminen	ohjelma	** Protovaiheessa
pohjamaan/penkereen deformatuminen	ohjelma	** Protovaiheessa
Poikkisuuntainen tai muu epätasaisuus / viettokaltevuuden puute		
reunapainuma	ohjelma	*Kehitystarve
latistuminen, viettopainuma	ohjelma	***
Päällysteen vaurioituminen, vauriosumma		
liikenneperäinen vaurioituminen	ohjelma, malli	***
routaperäinen vaurioituminen	ohjelma	* Kehitystarve
Pituussuuntainen tasaisuus, IRI		
pienpiirteiset erot päällysrak. johtuen	malli, mat. valinta	
painuma/painumaero	ohjelma	** Protovaiheessa
routanousu/routanouser	ohjelma	**
Päällysteen pinnan		
kitka	mat. valinta	
melu	mat. valinta	**

7 YHTEISKUNNALLISET HYÖDYT

Yhteiskunnalliset vaikutukset ja hyödyt väylärakentamisessa sovellettavista elinkaariperusteisesta hankinnasta ovat merkittäviä. Elinkaaritarkasteluilla voidaan valita kansantalouden ja tien käyttäjän kannalta optimaalisimmat tierakenteet. Eli valitut rakenteet ovat kustannus- ja ekotehokkuudeltaan oikeampia ratkaisuja. Valitsemalla elinkaaritaloudeltaan parhaimmat ratkaisut saadaan paras kate sekä kansantaloudellisesti että veronmaksajien kannalta. Vähemmän häiriötä aiheuttavia ratkaisut säästävät tien käyttäjien aikaa ja rahaa. Myös väylän turvallisuus paranee ja ympäristövaikutukset pienenevät häiriöiden rajoittamisesta.

Elinkaaritarkastelujen sisällyttäminen osaksi hankintamenettelyjä on oleellista kestävän kehityksen mukaiselle toimintatavalle. Tavoitteena on saada vähemmällä enemmän. Siis pienemmillä kustannuksilla ja ympäristövaikutuksilla tavoitellaan parempilaatuisia ja pitkäikäisempiä tuotteita. Kestävän kehityksen mukaisella rakentamisella on taustana vahvat yhteiskunnalliset paineet. Esimerkiksi uuden rakennuslain keskeisenä tavoitteena on parantaa maankäytön ja rakentamisen edellytyksiä kestävää kehitystä edistävään, ympäristöhaittoja vähentävään ja luonnonvaroja säästävään suuntaan. Myös Kiinteistö- ja rakennusklusterin visiossa 2010 /Kiinteistö- ja rakennusala 2001/ kestävän kehityksen on todettu nousevan yhdeksi tärkeimmäksi arvoksi kehittyneissä teollisuusmaissa.

Käytännössä ainoa tapa arvioida infrarakentamisen vaikutuksia kestävän kehityksen kannalta on tehdä erilaajuisia elinkaaritarkasteluja ja ympäristövaikutusten arviointeja sekä selvityksiä. Näiden elinkaaritarkastelujen tulee olla osa koko rakentamisprosessia lähtien ensimmäisistä suunnitteluvaiheista rakenteen purkamiseen. Elinkaaritarkastelujen osana olevien ympäristövaikutusten arviointien tulee perustua rakentamisalan ja koko yhteiskunnan yhdessä hyväksymiin ympäristöarvoihin. Näitä ympäristöarvoja kuvataan kehitteillä olevan ekoindikaattorijärjestelmän avulla.

Elinkaaritarkastelujen sisällyttäminen osaksi hankintaa kasvattaa sekä tilaajan että tarjoajan tarjouskustannuksia. Valitsemalla elinkaaritaloudellisesti edullisin rakenne pitkäajan kustannustasoa saadaan lasketuksi, jolloin myöhemmin muodostuvat säästöt korvaavat suuremmat tarjouskustannukset.

Elinkaaritarkasteluilla voidaan myös ohjata materiaalivalintoja, jolloin luonnonmateriaalien käyttöä voidaan vähentää ja uusiomateriaalien sekä huo-
nompilaatuisten materiaalien käyttöä voidaan tehostaa.

Oleellinen tekijä rakennusalan tuottavuuden kasvutavoitteille on innovaatioprosessin kehittäminen. Elinkaaritarkastelut helpottavat innovatiivisten ratkaisujen hyväksyntää ja näin edistävät alan tuottavuuden kasvua. Innovaatioprosessin kehittämisen myötä myös elinkaarilaadun kannalta oleellisen tekijän - suunnittelun - arvostus ja merkitys kasvavat.

8 JOHTOPÄÄTÖKSET JA LISÄTUTKIMUS-EHDOTUKSET

Tavoiteltaessa kestäväen kehityksen mukaista infrarakentamista käytännön työkaluina toimivat elinkaaritarkastelut. Elinkaaritarkasteluja voidaan tehdä tänä päivänä ainakin eräiden osatekijöiden suhteen. Rakentamisesta liikenteelle aiheutuvaa haittaa voidaan arvioida esimerkiksi kaistanvuokraus periaatteen mukaisesti. Rakentamisesta aiheutuvia ympäristövaikutuksia voidaan myös arvioida suhteellisen luotettavasti. Tutkimuksen aikana nousi kuitenkin esiin useita tarkasteluja rajoittavia tekijöitä ja arvostuskysymyksiä.

Yksi merkittävimmistä elinkaaritarkastelujen luotettavuuteen vaikuttavista tekijöistä on rakennuskohteiden riittävien lähtötietojen puute tai heikko laatu. Tiehallinnon onkin syytä kehittää toimintatapaansa siten, että riittävät lähtötiedot luotettaville tarkasteluille voidaan hankkia toimenpiteiden valmistelu- tai suunnitteluvaiheissa.

Lähitulevaisuudessa myös perinteisillä materiaaleilla toteutettavien rakenteiden käyttöikää pystytään arviomaan luotettavammin, kun mitoitusmenetelmät kehittyvät. Käyttöikäperusteinen mitoitus vaatii kuitenkin tuekseen erilaisia turmeltumismalleja, joita on tarpeen kehittää jatkossa. Osa mitoituksen kehittämisestä on myös jatkuvien mitoitusmenetelmien kehittyminen (esimerkiksi jatkuvat painumalaskentaohjelmat) vastaamaan paremmin kehittyviä toimivuusvaatimuksia. Tämän tueksi tarvitaan jatkuvien mittaus- ja todentamismenetelmien kehittämistä.

Elinkaaritarkastelujen perusongelma on, kuinka yhdistetään hinta toimivuuteen, laatuun ja ympäristövaikutuksiin. Eli kuinka eri "laatuiset" osatekijät muutetaan vertailukelpoisiksi keskenään. Muutos voidaan tehdä muuttamalla laatu, toimivuus ja ympäristö rahaksi erilaisin prosenttiarvoihin tai pisteyttämällä kaikki tai osa tekijöistä. Rakenteen tekninen toimivuus voidaan muuttaa käyttöikäksi ja ottaa huomioon elinkaarikustannuslaskelmissa. Muiden elinkaarilaadun osatekijöiden yhteismitallistaminen on hankalampaa. Ympäristövaikutusten arviointiin tarvitaan kehitteillä olevaa ekoindikaattorijärjestelmää ja sitä täydentäviä työkaluja. Vastaavaa järjestelmää kaivattaisiin myös toimivuuden ei-teknisten ominaisuuksien ja rakentamisen toteutuksen arviointiin. Elinkaaritarkasteluja sovellettaessa on tärkeää hallita elinkaarilaadun kokonaisuus, jotta välttyään osittaisten tarkastelujen mahdollisista harhaan johtavista tuloksista.

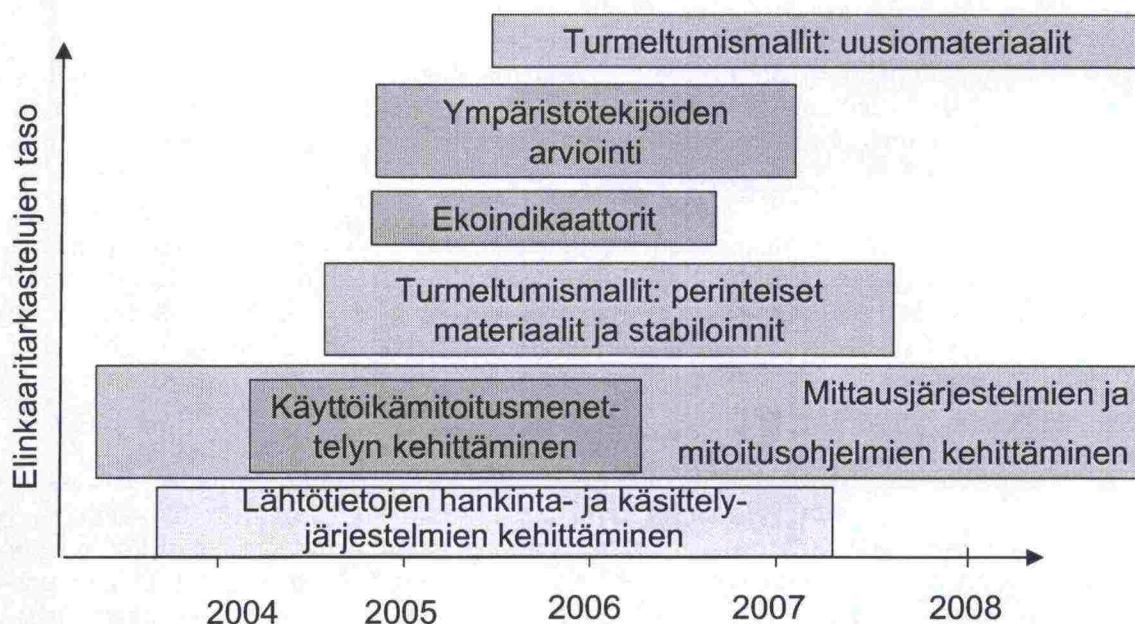
Elinkaarikustannuslaskentaa voidaan soveltaa eri suunnitteluvaiheissa ja erilaisissa elinkaarimalleissa vaihtoehtojen vertailuun. Sitä vastoin se soveltuu nykyisellään huonosti lyhyiden takuuajkojen ST -urakoiden tarjousten vertailuun. Näissä tapauksissa on tyydyttävä erilaisiin pisteytyssysteemeihin, jotta voidaan arvioida rakenteen käyttäytymistä myös takuuajan jälkeen. Yhdistämällä pisteytyssysteemit päätöksenteossa käytettäviin monimuuttujanalyysseihin, saadaan tarjousten vertailusta moniarvoisempi. Elinkaaritarkastelujen ja tuotehyväksyntämenettelyjen avulla voidaan helpottaa innovatiivisten rakenteiden tai tuotteiden käyttöönottoa. Uusien tekijöiden mukaanotto hankintaan edellyttää myös sopimuskäytäntöjen tarkistamista.

Elinkaaritarkasteluperusteinen suunnittelu ja hankinta vaativat eri osapuolilta enemmän tietoa ja osaamista kuin tavanomainen hankinta. Ongelmana on kuinka nopeasti jo olemassa olevia tarkasteluja voidaan soveltaa. Jos edetään vauhdilla, muutosten läpivienti vie vähemmän aikaa. Silloin on vaara, että tilaajat, urakoitsijat ja suunnittelijat eivät pysy perässä, eikä aina saada riittävää kilpailua. Haastattelujen mukaan osa suunnittelijoista haluaisi nopeampaa kehitystä, kun taas toisten mukaan kehitysvauhti on liian nopea. Tavoitteena on, että pilot-kohteista tehdään jälkiarviointi takuuajan päättyessä, jotta voidaan arvioida esitettyjen menettelyjen toimivuutta.

Tutkimuksen mukaan kiireellisimmät elinkaaritarkastelujen lisätutkimusta vaativat tutkimusaiheet ovat:

- Käyttöikämitoitus ja turmeltumismallien kehittäminen
- Yhtenäisen arviointikehyksen luonti
- Ekoindikaattorijärjestelmä ja sen työkalujen kehittäminen

Kuvassa 8 on esitetty lähitulevaisuuden tavoitearvio elinkaaritarkastelujen osatekijöiden kehitymisestä.



Kuva 8. Elinkaaritarkastelujen osatekijöiden kehitysaikataulu.

9 KIRJALLISUUS

APAS_3 (ver 3.0) mitoitushjelman käyttöohje, Tiehallinto 2003.

Eskola P., Mroueh, U-M., Juvankoski M. ja Ruotoistenmäki A., Maarakentamisen elinkaariarviointi, VTT tiedotteita, Espoo, s. 111 + liitt., 1999

Häkkinen T., Selvyttä menetelmien runsauteen - rakentamisen ympäristövaikutuksien arviointimenetelmien jäsentely, Rakennustekniikka 3/2001, s. 14 - 17, 2001

Kiinteistö- ja rakennusala, Kiinteistö- ja rakennuskluusterin visio 2010, Hyvän elämän puitteet, Raportti 1, 30.5.2001.

Nissinen A., Julkisten hankintojen ympäristöopas, 2004, Suomen Ympäristökeskus

Petäjä S. ja Spoof H., Päälysrakenteen elinkaarikustannusanalyysi, Menetelmäkuvaus TPPT 20, Espoo, 2001

Pienimäki, M., APAS -mitoitushjärjestelmän perusteet. Espoo 2001, Tiehallinnon selvityksiä 2001, VTT Rakentamis- ja yhdyskuntatekniikka.

Pienimäki, M., Tierakenteiden kuormituskestävyyshmitoitush APAS -mitoitushjelmalla, Tien ja kadun elinkaaren hallinta -seminaari 2004.

Sarja A., Rakenteiden elinkaaritekniikalle pohjaa ohjeistuksella, Rakennustekniikka 3/2001, s. 8 - 13. 2001.

Sterner E., Green produrement of Buildings, Estimation of life-cycle cost and environmental impact, Doctoral thesis, Luleå Tekniska Universitet, s. 97, 2002

Tammirinne M., Tierakenteen suunnittelu ja mitoitush, TPPT-suunnitteluhjärjestelmän kuvaush, Tiehallinnon selvityksiä 7/2002, Helsinki, 2002

Tiehallinto, Hankintastrategia, Esittelykalvot 11.3.2004.

Törnqvist J., Laaksonen R. ja Juvankoski M., Sähköinen vastushuotash tien painumalaskennan lähtötietojen hankkimishessa. TPPT Menetelmäkuvaush 9, 2001a, http://alk.tiehallinto.fi/tppt/tppt_suunmat.htm#2

Törnqvist J., Laaksonen R., Juvankoski M., Vepsäläinen P., Lojander M. ja Takala J., Tien jatkuvan painumaprofiilin laskenta pikselimallilla. TPPT Menetelmäkuvaush 19, 2001b, http://alk.tiehallinto.fi/tppt/tppt_suunmat.htm#2

10 LIITTEET

Mt 307 parantaminen välillä Valkeakoski – Tykölä

Ensimmäiseksi pilot -kohteeksi valittiin Mt307 parantaminen välillä Valkeakoski-Tykölä. Kohde alkaa Valkeakosken itäosista päättyen Tykölän kylään (kuva L1.1). Tarjouspyyntöjen valmistelu alkoi helmikuussa 2003, tarjouslaskenta toukokuussa 2003 ja tarjouksia arvioitiin elokuussa 2003. Kohde oli yksiajoratainen maantie, jossa parannettavan maantien osuus oli noin 9,4 km ja tielinjan oikaisua noin 1,0 km. Tien rinnalle rakennettavan kevyen liikenteen väylän pituus oli 4,7 km. Tien suunniteltu poikkileikkaus oli 8/7 metriä. Tievälin KVL oli 2200 ja KKVL 2800 ajoneuvoa. Raskaiden ajoneuvojen osuus tuosta oli vain 2,9...3,6 %. Parantamistoimenpiteet sisälsivät väistötiloja, liittymien kanavoitinta, yksityistiejärjestelyjä, tien geometrian ja rakenteen parantamista (kuva L1.2). Tyypillisiä rakenteellisia ongelmia olemassa olevalla tiellä olivat routavauriot, heikko kantavuus erityisesti tien reunaosilla, pituus- ja poikkisuuntaiset epätasaisuudet sekä urautuminen. Tien mitoitusnopeus vaihteli osuuksittain 50...80 km/h.



Kuva L1.1. Mt307 Valkeakoski - Tykölä kartta.

Kohteesta oli laadittu vuonna 1998 tiesuunnitelma. Tiesuunnitelma sisälsi maastomallin, teiden geometriatiedot sekä pohjatutkimustietoa noin 60 tutkimuspisteestä. Rakenteen tila tutkittiin vuonna 2002 maatutkamittauksin. Samassa yhteydessä otettiin yhdeksästä näytepisteestä häiriintyneitä näytteitä, joista selvitettiin tierakennekerrosmateriaalien ominaisuuksia. Vuonna 2003 täydennettiin maastomittauksia. Samassa yhteydessä suunniteltiin jatkettava kevyen liikenteen väylä. Muutoksista laadittiin tiesuunnitelman täydennys. Täydennys sisälsi myös maastokatselmuksen ja luettelon olemassa olevista rummuista ja niiden kunnosta.

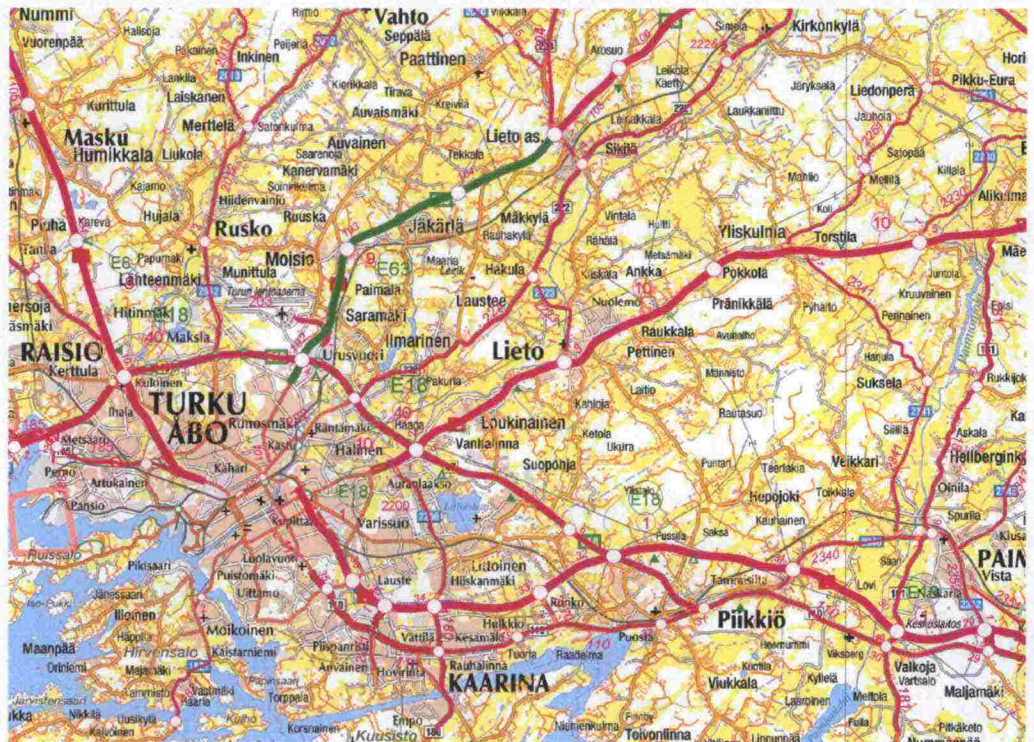
Pohjamaana kohteessa oli pääasiassa olemassa olevien teiden rakennusmateriaaleja sekä hiekka- tai sora-ainetta. Rakennusaikana leikkausten pohjalla havaittiin kalliota, jota ei oltu pohjatutkimuksissa selvitetty. Lisäksi tielinja ylitti muutaman matalahkon - enintään 5 metriä syvän - savisen pehmeiköäalueen.



Kuva L1.2. Mt307 pinnan vaurioita ja epätasaisuutta.

Vt 9 parantaminen välillä Turku – Liedon asema

Toiseksi pilot -kohteeksi valittiin Vt9:n parantaminen välillä Turku-Liedon asema. Tämän kohteen tarjousten valmistelu alkoi vuoden vaiheessa 2004, tarjouslaskenta kesäkuussa 2004 ja laskenta-aika päättyy syyskuussa 2004. Parannettava tieosa oli moottoritie, jonka pituus oli noin 13,5 km. Urakkaan kuului 6 korjattavaa ja levennettävää siltaa, 8 korjattavaa rumpua sekä kauko-ohjattavien puomilaitteiden ja riista-aidan rakentaminen. Tieosuuden KVL vaihteli 11290 - 14764 ajoneuvoon. Raskaiden ajoneuvojen osuus oli 9 - 12 %. Tieosan sijaintikartta on esitetty kuvassa L1.3.



Kuva L1.3. Vt9 välillä Turku - Liedon asema.

Tien kuntoa on arvioitu 2000 tehdyn kunnostussuunnitelman yhteydessä. Olemassa oleva tierakenne täytti pudotuspainolaitemittausten mukaan pääosin sille asetetut kantavuusvaatimukset, eikä siinä ollut havaittavissa merkittäviä routavaurioita. Parannettavan tieosan tyypillisenä ongelmana olivat erilaiset epätasaisuudet ja tien poikkisuuntainen latistuminen (kuva L1.4). Nämä johtuivat pääosin tien epätasaisesta painumasta. Olemassa olevaa tierakennetta oli monin paikoin korjattu lisäämällä asfalttikerroksia. Maatutkamittausten mukaan asfalttikerrokset saattoivat olla jopa yli 700 mm paksuisia. Keskimäärin päällysteen paksuus oli noin 200 mm.

Tarjousten vertailussa kiinnitettiin erityisesti huomiota tulevan rakenteen pystygeometrian suunnitteluun. Korjatun tasauksen perusteella arvioitiin sitä, miten rakenteen pituus- ja poikkisuuntainen tasaisuus jatkossa kehittyy. Urakoitsijoille annettiin vapaus muuttaa nykyistä tasausta +0,5 m ja -1,0 m, mikäli se nykyisen tiealueen puitteissa oli mahdollista. Tien mitoitusnopeus oli 120 km/h ja tavoitteellinen suunnitteluikä rakenteelle oli 20 vuotta.

Kohteesta oli käytettävissä rakennussuunnitelma vuodelta 1959 sisältäen pituus- ja poikkileikkauksia kairauksineen. Suunnitelman leikkaukset oli esitetty niiltä kohdin, kun pohjatutkimuksia oli tehty. Tien tasausta ei ollut toteutettu alkuperäisen rakennussuunnitelman mukaan, joten tasaustiedot olivat epävarmoja. Vuonna 2000 kunnostussuunnitelman yhteydessä rakenteen tila oli tutkittu maatulauksin sekä pudotuspainolaitemittauksin. Tämä aineisto oli käytössä vain paperiversiona, eikä se kattanut ihan koko parannettavaa aluetta. Lisäksi mittausten paalutus erosi muissa suunnitelmissa käytetystä paalutuksesta jotakin satoja metrejä. Tarjouspyyntöjen valmistelun yhteydessä tehtiin lisäpohjatutkimuksia ja maastomittauksia. Maastomittauksilla mitattiin nykyisen rakenteen pinnan muotoja ja ne tehtiin laserskannauksella. Olemassa olevan rakenteen korjaamisesta ei ollut käytettävissä historiatietoja. Tarjousten laskenta-aikana tien pinnan epätasaisuutta sekä pituutta poikkisuuntaan mitattiin PTM -mittauksin.

Pohjaolosuhteet alueella vastasivat Varsinais-Suomelle tyypillisiä olosuhteita: tielinja leikkasi useita kallioita, joiden välissä oli eri syvyisiä pehmeiköitä. Syvimpien pehmeikköjen paksuus oli ainakin 20 metriä ja ne olivat pääosin lihavaa savea tai liejuista savea. Nykyinen tie on rakennettu 1960-luvun alussa pääosin maanvaraisena rakenteena ilman pohjanvahvistuksia. Alueelta on olemassa kairauksia 1950-luvun lopusta. Näitä tutkimuksia täydennettiin vuonna 2004 sähköisin vastusluotauksin sekä näytteenotoin. Laskelmien mukaan nykyisen tiepenkereen painumat ovat pääosin tapahtuneet ja painuminen on tasoittunut. Tehtävillä tasauksen muutoksilla tilanne voi kuitenkin muuttua.



Kuva L1.4. Painumavaurioita Mäntylän sillan taustalla.

LIITE 2: TYÖKALUJEN KUVAUS JA SOVELLUSTAVAT

APAS -tierakenteen suunnitteluohjelmisto

APAS -järjestelmään sisältyy kolme toiminnallisesti erilaista, mutta käyttäjän kannalta yhtenäistä kokonaisuutta: mitoitusparametreista koostuva Access-tietokanta, vastelaskentaohjelma STRESS ja käyttöliittymään sisällytetty mitoituksen ohjaus. Pilot -urakoiden yhteydessä käytettiin versiota 3 (APAS_3), joka valmistui vuoden 2003 keväällä Tiehallinnon tilaaman päivitysprojektin tuloksena.

APAS_3 on suunniteltu uuden rakenteen kuormituskestävyyden mitoittamiseen materiaalien väsymisteorian pohjalta. Se ei sisällä routamitoitusta eikä sillä voi arvioida rakenteiden urautumista. Se ei myöskään sisällä rakenteen parantamiseen liittyviä toimintoja, joita edellinen versio sisälsi. APAS_3 -version konkreettisin lisäominaisuus edellisiin versioihin on jännitystilariippuvien materiaalimoduulien käyttömahdollisuus. Tietokantaan sisältyy tällaisia sitomattomien kerrosten jännitystilariippuvia materiaalimalleja. Tiehallinto asetti kokonaisuudessaan APAS_3:een uudet, hieman edellisistä versioista poikkeavat laskentaparametrit.

APAS mitoittaa kuormituskestävyyden perinteistä mekanistista menetelmää käyttäen. Mitoituksen lopputuloksena on rakenne, joka täyttää kuormituskestävyyden osalta sille asetetun raskaan liikenteen määrään sidotun kuormituskertalukuvaatimuksen. Tällöin rakenne suunnitellaan niin, että standardikuormasta rakenteeseen syntyneet rasitukset jäävät rakenteen ja sen materiaalien kannalta riittävän alhaisiksi.

Mekanistinen mitoitusperiaate edellyttää, että rakenteen muodonmuutos- ja jännitysvasteet voidaan laskea nopeasti ja tarkasti. APAS -järjestelmässä laskennat tehdään STRESS -laskentaohjelmalla. STRESS on kimmoteoriaan perustuva monikerrosohjelma, joka on kehitetty mitoituslaitteisiin ja laskee vasteet nopeasti.

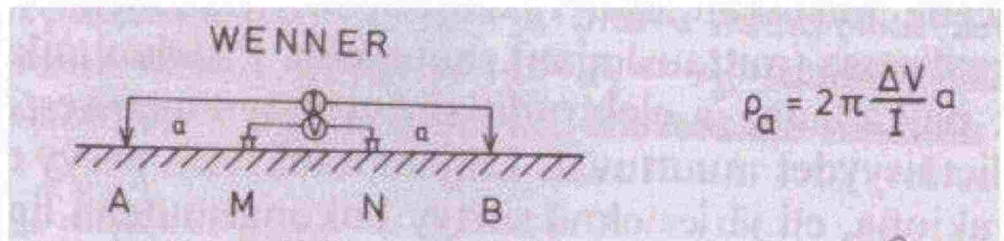
Molemmissa pilot -kohteissa edellytettiin APAS -ohjelmaa sovellettavaksi teiden rakennekerrosten mitoittamiseen. Lisäksi edellytettiin, että kuormituskestävyyksimitoitusta täydennetään routalaskelmin. Mt307:llä kaikille tarjoajille jaettiin sama versio APAS -ohjelmasta sekä sama tietokanta materiaalitietoi-
neen. VT9:llä tarjoajien edellytettiin mitoittavan tierakenteen vain niiltä jaksoilta, joilta tehtiin merkittäviä muutoksia nykyiseen rakenteeseen. Mitoitusta ei edellytetty tehtäväksi jaksoilta, joilta nykyisen päällysteen päälle lisätään bitumilla sidottuja kerroksia tai tehdään vain vähäinen jyrskintä tai uudelleen päällystys. Tämä johtui siitä, että VT9:llä päällysteiden paksuus oli suuri suhteessa liikennemäärään, eikä kuormituskestävyyttä nähty kriittiseksi rasitustekijäksi, jos päällystettä ei ohennettu. Kaikilla tarjoajilla oli käytössään sama versio ja tietokanta APAS -ohjelmasta.

Sähköisen vastusluotauksen ja TSARPIX -ohjelman soveltaminen

VT9 painumaeron arvioimiseksi annettiin mahdollisuus soveltaa Tien pohja ja päällysrakenteet -tutkimusohjelmassa kehitettyä maavastusluotaukseen perustuvaa painuman arviointimenetelmää. Sähköisen vastusluotauksen mittausmenetelmä on kuvattu julkaisussa /Törnqvist et al. 2001a/ ja laskentamenetelmä julkaisussa /Törnqvist et al. 2001b/. Menettelyssä maan ominaisvastus mitataan ainetta rikkomattomasti tien viereltä maavastusluotauksena. Ominaisvastus muutetaan kokemusperäisesti ja paikalla saadun referenssimittausten perusteella jatkuvaksi vesipitoisuuskuvaukseksi ("vesipitoisuustomografia"), jota tulosta puolestaan käsitellään laaditulla Tsarpix -ohjelmalla aikapainumien ja -painumaerojen arvioimiseksi. Referenssimittaukset ovat vesipitoisuuksien mittaus otetuista näytteistä tai epäsuoraan radiometrisin reikäluotausmentelmin. Menettely on TPPT -ohjelmassa kehitetty prototyyppiasteelle, minkä johdosta painumat edellytettiin tarkistettavaksi myös perinteiseen painumalaskentaan pohjautuen.

Sähköisessä maavastusluotauksessa joukko metallipiikkejä eli elektrodeja maadoitetaan suoraan linjaan tasavälein. Elektrodien välimatka valitaan tutkimustarpeen mukaan, tässä kohteessa pääosin 2 ja 5 metrin välein. Jos tarvitaan tarkkaa tietoa pintakerroksista, käytetään lyhyttä, esimerkiksi yhden metrin elektrodiväliä. Jos kaivataan tietoa mahdollisimman syvältä, käytetään harvempaa mittausväliä, esimerkiksi viiden metrin elektrodiväliä. Automaattisessa mittausproseduurissa maaperään syötetään virtaa aina kahdella elektrodilla ja kaksi elektrodia mittaa jännitettä. Virtaa syöttävien ja jännitettä mittaavien elektrodioiden paikat vaihtuvat mittauksen edetessä mittauslaitteen ohjausproseduurin säätelemänä. Tuloksena saadaan tietoa maaperän sähköisistä ominaisuuksista. Referenssitietoa (geologia, kairaus) hyödyntäen voidaan tehdä tulkintoja maaperän kerrosrakenteesta ja kalliopinnan topografiasta.

Tämän projektin mittauksissa käytettiin Tieliikelaitoksen ABEMSAS4000 vastusluotauslaitteistoa, jossa yhdellä levityksellä maadoitetaan 41 elektrodia. Tutkimuskohteissa käytettiin tarpeen mukaan joko viiden metrin tai 2 metrin elektrodiväliä. Mittauskonfiguraatioksi valittiin ns. Wenner-konfiguraatio, (kuva L2A.1), jotta mittauksilokset saatiin pidettyä mahdollisimman kohinattomana.



Kuva L2A.1 Wenner elektrodikonfiguraatin periaate.

Kuvassa esitetyssä kaavassa käytetyt merkinnät ovat:

- ρ = laskettu ominaisvastus
- ΔV = jännitemuutos, V
- I = virta, A
- a = elektrodien etäisyys, m

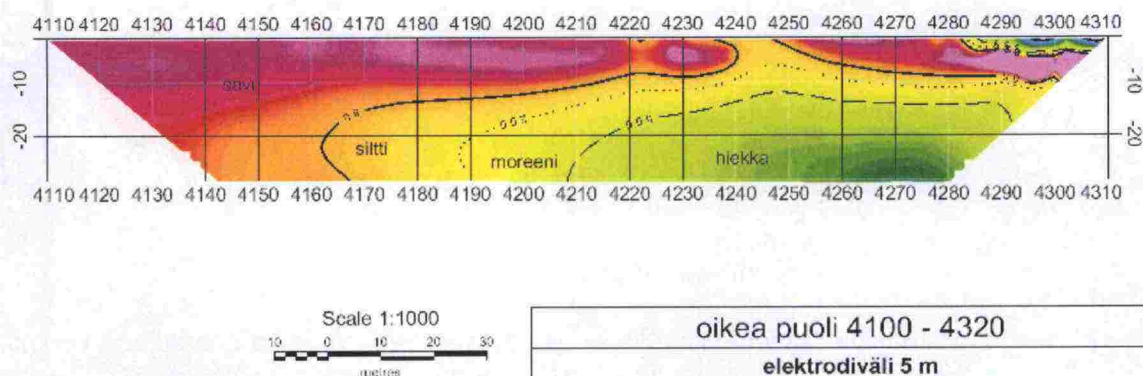
Mittauksia tehtiin kaiken kaikkiaan 18 paaluväliltä, jotka ennakkoon arvioitiin sisältävän merkittävimmin painuvia tai painumaeroja sisältäviä kohteita. Painumalaskentaohjelman Tsarpix suorittamiseen tarvittavat sähköisen tomografiamittauksen tuottamista ominaisvastuksista vesipitoisuudeksi muunnellut vesipitoisuustiedostot sekä edelleen ohjelman tarvitsemat nk. Raipix -tiedostot, jotka ovat geometrialähtötietoja, annettiin esivalmisteltuina tarjoajille. Lisäksi luovutettiin pdf -dokumentteina kuvat vesipitoisuustuloksista mitatuilta paaluväleiltä. Raipix -tiedostoissa annetut maanpinnan, leikkaustason sekä pohjavedenpinnan tasot olivat viitteellisiä ja laskennassa käytettävät arvot edellytettiin tarjoajan arvioivan myös muuta saatavaa lähtöaineistoa käyttäen.

TSARPIX -laskentoja varten oli lisäksi alustavasti arvioitu Tsarpix -ohjelmassa käytettäviä kokoonpuristuvuusindeksin ja vedenjohtavuuden laskentaparametreja. Lukuarvojen asettaminen oli laskijan vastuulla ja niitä kehoitettiin tarkennettavaksi saatujen ödometrikokeiden tulosten perusteella. Lisäksi laskentaohjeeksi annettiin suositus, että aikapainumalaskenta eri kuormitusportaineen tehtäisiin siten, että nykyisen tien jo tapahtunut painumahistoria ja mahdolliset tien korotukset /leikkaukset tarkastellaan yhdessä laskennassa. Näin mahdollisten uusien toimenpiteiden aikaansaama painuma on lisäpainumaa, joka tapahtuisi laskennassa nykyhetken ajankohdan (tarjouksen toimenpiteen) jälkeen. Painuma edellytettiin laskettavaksi ainakin kulkusuuntaan nähden oikeanpuoleisen kaistan keskellä.

Ohjelman prototyyppiluonteen johdosta tiepenkereen levennyksiä ei ohjelmassa voitu kuvata. Myös tiepenkereen korotukset ja leikkaukset jouduttiin lisäämään käsin laskentalähtötietojen Excel -tiedostoihin yhden metrin välein. Tämä osittainen tiedostojen käsittely editoimalla tiedettiin ennakolta puutteeksi, joka jatkossa edellyttää ohjelman kehitystä.

Ohjelmaan luetaan aluksi kaksi tietokantaa: vesipitoisuustietokanta sekä nk. Raipix -tietokanta, jossa on paalulukemaa vastaava maanpinnan taso, pohjavedenpinnan taso, tasausviiva, leikkaustaso ja mahdollinen kevennys paalulukemittain tasokohtaisesti. Ylimmän tason vesipitoisuus annetaan laskentaohjelmassa mahdollisesti puuttuvien vesipitoisuuskemien osalta ylimmän pikselipinnan yläpinnasta maanpintaan.

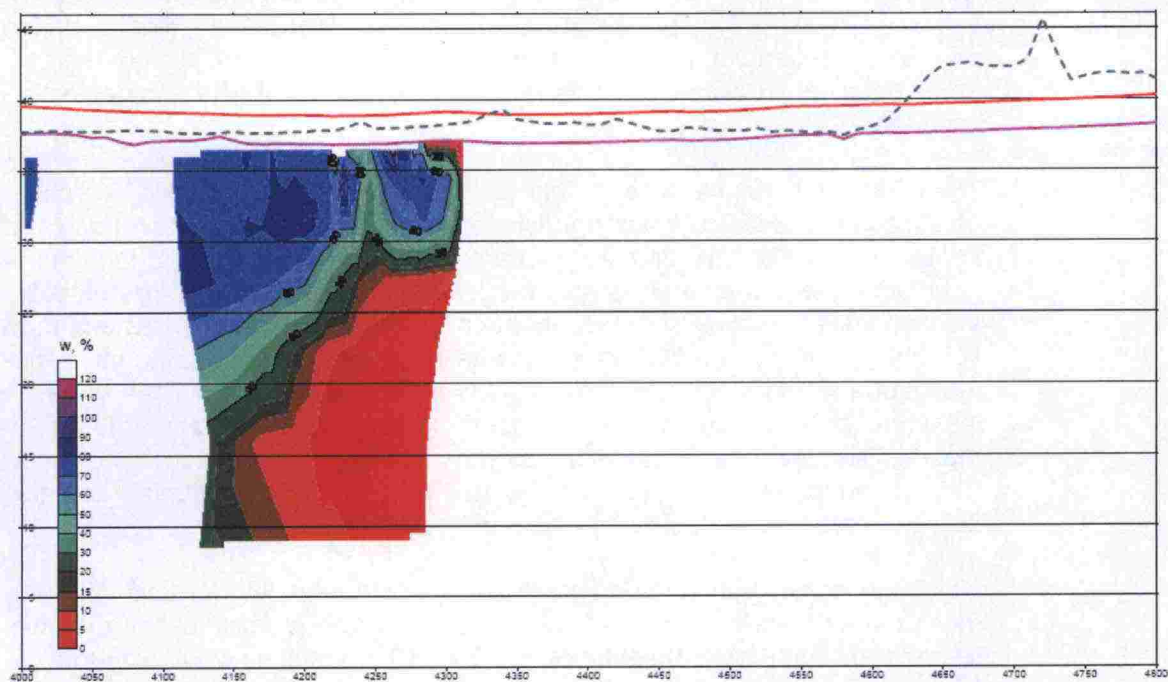
Kuvassa L2A.2 on esimerkki topografiakorjaamattomasta ominaisvastusjakaumasta. Kuvassa L2A.3 on esitetty topografiakorjattu, tulkittu vesipitoisuusjakauma. Kuvassa L2A.4 on esitetty painumalaskentatuloksia eri ajanhetkillä tien pituussuuntaan.



Kuva L2A.2. Topografiakorjaamaton (maanpinta vaakasuora) ominaisvastusjakauma maalajeiksi tulkittuna (viitteellinen maalajitulkinta).

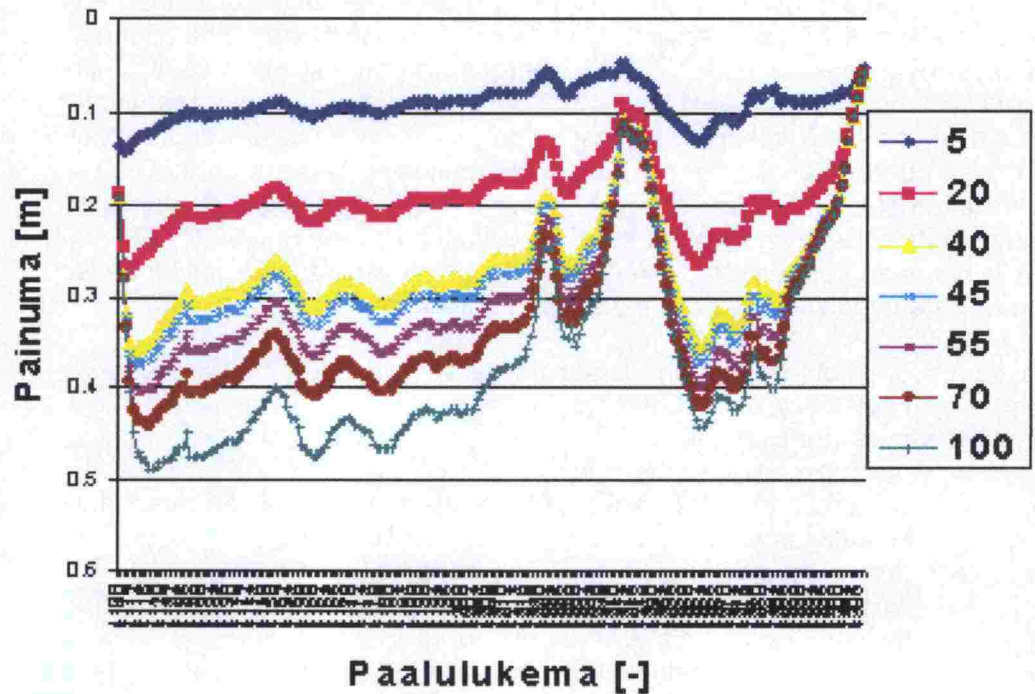
PL 4000 - 4800 Oikea

— Tsv v. 2004
- - - Maanpinta, oikea 25 m, v. 2004
— Arvioitu leikkaustaso/penkereen ap.



Kuva L2A.3. Topografiakorjattu, tulkittu vesipitoisuusjakauma varustettuna vuonna 2004 mitatulla tasausviivalla, tien viereisen oikean puolen maanpinnalla sekä maatutkamittauksen perusteella arvioitulla vanhan tien leikkaustason sijainnilla.

Laskenta pituussuunnassa



Kuva L2A.4. Tsarpix -ohjelman painumakuvaaja paaluväliltä oikea 4108...4307 m. Laskennassa ei ole huomiota tien pinnan korotuksiin tai leikkauksiin näiden korjaustoimenpiteiden jälkeen. 30 vuoden aikana tapahtuva suurin painuma vuodesta 2005 ($t=40$ v) vuoteen 2035 ($t=70$ v) on arvioitu noin 10 cm:ksi. Ohjelman prototyyppiluonnosta kuvaa se, että mm. kuvan paalulukeman harventamiseen esityskelpoisempaan muotoon ei oltu panostettu.

MELI-ohjelman soveltaminen ja laskelmien teko pilot-kohteissa

Meli -ohjelma sisältää kaikki yleisimmät tierakenteissa käytettävät materiaalit, menetelmät ja työvaiheet. Tien pohja- ja päällysrakenteita käsitellään erillisinä ja tulokset liitetään tarvittaessa yhteen. Tarkasteltavat ympäristökuormitukset ovat raaka-aineiden käyttö, energian ja polttoaineiden käyttö, hiilidioksidi-, typpioksidi-, rikkidioksidi-, VOC-, hiilimonoksidi- ja hiukkaspäästöt ilmaan, maaperään liukenevat päästöt, pöly ja melu. Ohjelma suunniteltiin alun perin uuden tierakenteen ympäristökuormitusten laskentaan ja siitä pyrittiin tekemään mahdollisimman helppokäyttöinen. Viime aikoina ohjelmaa on kehitetty soveltuvaksi myös tien kunnostuskohteiden ympäristövaikutusten laskentaan. Suurin osa rakenteiden ympäristövaikutusten laskennassa tarvittavista tiedoista on valmiina ohjelman tietokannassa.

Käyttäjä syöttää ohjelmaan ainoastaan seuraavat perustiedot rakenteesta:

- käytettävät materiaalit
- rakenneosien paksuudet
- rakenteen pituus ja leveys
- työmaalle tuotavien sekä sieltä muualle kuljetettavien materiaalien kuljetusmatkat ja tavat (maaseutu vai taajama)
- rakennekerroksissa käytettävien sideaineiden määrät
- työmaalla syntyvien ylijäämämassojen määrät (niistä hyödynnettävien/läjitettävien massojen osuudet)
- rakenteen kunnostuskertojen määrät ja kunnostustavat tarkastelujakson aikana.

Näiden tietojen perusteella ohjelma tulostaa automaattisesti rakenteen ympäristökuormitustiedot sekä taulukkomuodossa että erilaisina valmiina graafisina esityksinä, joista voidaan valita parhaiten käyttäjälle soveltuvat. Tierakenteen ympäristökuormitukset voidaan esittää myös ympäristöselosteen kaltaisena tulosteena.

Meli -ohjelmaan tehtiin projektin aikana seuraavat muutokset ja lisäykset:

- teräsvahvistukset lisättiin päällysteiden materiaalivalikoimaan
- komposiitti- ja remixerstabilointi lisättiin päällysrakenteen rakenevaihtoehtoiksi
- stabiloinneissa käytettävien sideaineiden määrät muutettiin käyttäjän valittaviksi
- päällysteen jyrskintä (esitetään jyrksinnästä syntyvänä massamääränä, m³ktr) lisättiin ohjelmaan uutena työvaiheena
- Rakenteesta poistettavien ylijäämämassojen (asfalttirouhe mukaan lukien) kierrätys voidaan huomioida. (Käyttäjä antaa joka kerroksessa hyödynnettävän massamäärän). Käyttäjä ilmoittaa myös läjitykseen vietävien ylijäämämassojen määrän ja kuljetusetäisyyden, jolloin tarkasteluun saadaan mukaan myös ylijäämämassojen kuljetuksen ympäristökuormitukset.
- Meli-vertailuohjelma arvottaa ympäristökuormitukset keskenään käyttäen ohjelmaan sisältyviä painokertoimia. Tarkasteluun lisätään painokerroin jätteille, jolloin materiaalien hyödyntäminen kohteissa voidaan arvottaa paremmaksi kuin niiden läjittäminen.

Ympäristövaikutukset arvioitiin molemmissa pilot -kohteissa tarjouksen antajien Meli -ohjelmalla tekemien ympäristökuormituslaskelmien perusteella. Meli -ohjelma annettiin urakoitsijoille käyttöön laskelmien tekemiseksi. Urakoitsijoille toimitettiin myös ohjeet laskelmien tekemisestä ja vaadituista tulosteista.

Mt307 Valkeakoski

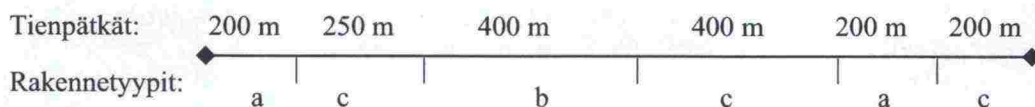
Meli -vertailuohjelmaa muokattiin siten, että se tuottaa tarkasteltavan tieosuuden ympäristölaatua kuvaavan luvun (ympäristölaatu-termi), joita vertaamalla voitiin suoraan arvioida eri tarjousvaihtoehtojen ympäristöystävällisyyttä.

Meli -vertailuohjelmaan syötettiin viiden eri "tyyppirakenteen", eli vertailurakenteen ympäristökuormitustiedot. Tarkastelua varten tieosuus jaettiin rakennetyypeittäin tyyppirakenteita vastaaviin pätkiin ja ympäristökuormituslaskelmat tehtiin erikseen joka rakennetyypille (a...e). Laskelmissa käytetyt rakennetyypit olivat:

- a) Uusi päällystekerros
- b) Tasauksen nosto
- c) Tasauksen lasku
- d) Teräsverkko + AB
- e) Uusi rakenne

Tarkasteltavan tieosuuden jako suoritettiin esim. seuraavasti:

Tarkasteltava tieosuus:



Ympäristövaikutuslaskelma tehtiin kullekin rakennetyypille erikseen. Meli-ohjelman tulosteena saadaan ympäristökuormitusten määrät sellaisenaan (esim. CO₂-päästö kg:na) sekä muutettuna ympäristölaatupisteiksi. Ohjelman tekemä pisteytys tapahtuu kertomalla rakenteiden ympäristökuormitusten suhde projektissa 'Maarakentamisen elinkaariarviointi' /Eskola et al. 1999/ määritetyillä painokertoimilla. Tuloksena saatuja ympäristölaatupisteitä verrattiin tarkasteltavaa rakennetyypii parhaiten vastaavan vertailurakenteen ympäristölaatupisteisiin. Tässä vaiheessa voitiin myös vertailla erilaisia rakenteita keskenään. Mitä pienemmät ympäristölaatupisteet olivat, sitä ympäristöystävällisempi rakenne oli.

Kullekin rakenteelle laskettiin myös suhteelliset ympäristölaatupisteet, jotka kuvaavat kyseisen rakenteen ympäristölaatua verrattuna vertailurakenteeseen.

$$y_{i(Meli)} = \left[\left(\frac{L_{vert} - L_i}{L_{vert}} \right) * B \right]$$

jossa $y_{i(Meli)}$ = suhteelliset ympäristölaatupisteet
 L_{vert} = vertailurakenteen ympäristölaatupisteet
 L_i = tarkasteltavan rakenteen ympäristölaatupisteet
 B = kerroin (0,15)

Jos suhteelliset ympäristölaatupisteet olivat negatiiviset, oli rakenne ympäristölaadultaan huonompi kuin vertailurakenne. Positiiviset ympäristölaatupisteet kuvasivat taas parempaa ympäristölaatua. Kerroin B valittiin siten, että suhteellisten ympäristölaatupisteiden arvot vaihtelivat välillä ± 10 % vertailuhinnasta.

Esimerkki suhteellisten ympäristölaatupisteiden laskennasta:

Vaihtoehto	L	L _{vert}	B	(L _{vert} -L)/L _{vert}	y _{i(Meli)}
Yhtä hyvä kuin vertailurakenne	65	65	0,15	0	0
Parempi kuin vertailurakenne	25	65	0,15	0,615	9,2 %
Huonompi kuin vertailurakenne	105	65	0,15	-0,615	-9,2 %

Kun kustakin rakennetyypistä oli valittu haluttu rakennevaihtoehto, laskettiin tarkasteltavan tieosuuden kokonaisympäristölaatupisteet, eli ympäristölaatu-termi. Se saatiin laskemalla valittujen rakenteiden suhteellisten ympäristölaatu-pisteiden rakenteiden pituuksilla painotettu keskiarvo

$$Y = \frac{\sum_{i=1}^n (y_{i(Meli)} * x_i)}{\sum_{i=1}^n x_i}$$

(L2.2)

jossa Y = ympäristölaatu-termi
 $y_{i(Meli)}$ = rakenteen suhteelliset ympäristölaatupisteet
 x_i = rakenteen pituus
 n = tarkasteltavien rakenteiden lukumäärä

Eri tarjousten ympäristölaatu-termiä vertaamalla voitiin suoraan arvioida eri vaihtoehtojen ympäristöystävällisyyttä. Samalla määräytyi ympäristölaadun vaikutus lopulliseen tarjoushintaan. Ympäristövaikutuslaskelmien vaikutus tarjoushintaan oli määritelty enintään ± 10 %.ksi. Tarjoushinnan muutos oli siis suoraan ympäristölaatu-termin muutos prosentteina.

Jos ympäristölaatu-termi = 0 → tarjoushinta pysyi samana
Jos ympäristölaatu-termi < 0 → tarjoushinta nousi
Jos ympäristölaatu-termi > 0 → tarjoushinta laski

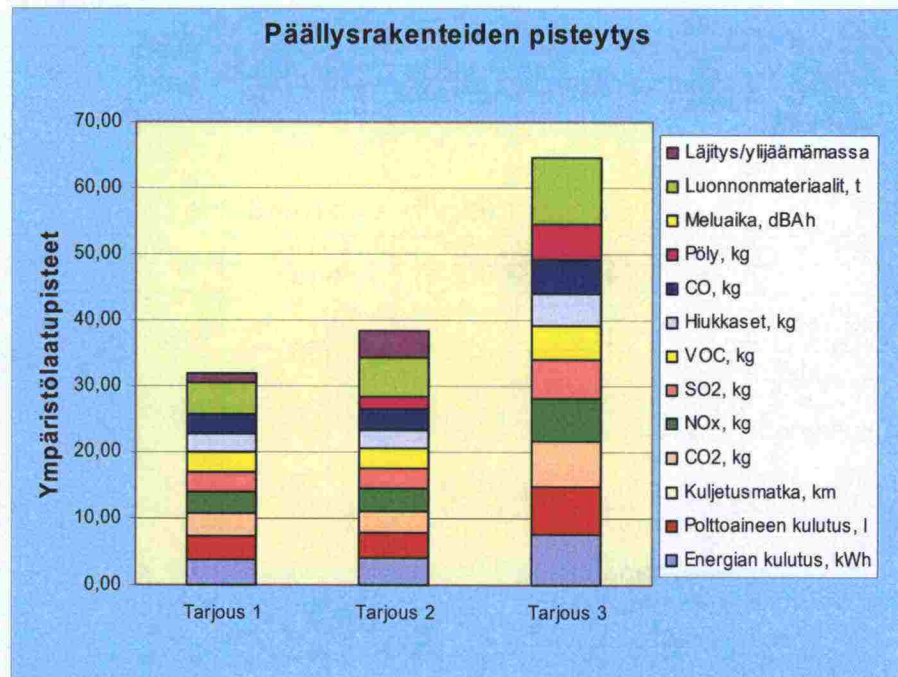
VT9 Turku- Liedon asema

Edellisen pilot -kohteen kokemusten perusteella Meli -ohjelmaan tehtiin useita muutoksia ja ympäristövaikutuslaskentaa yksinkertaistettiin huomattavasti. Komposiitti- ja remixerstabilointi lisättiin ohjelman materiaalivevaihtoehtoiksi. Vertailurakennetarkastelusta luovuttiin kokonaan ja ohjelman käytöstä järjestettiin koulutustilaisuus. Ohjelman käyttöohjetta pyrittiin myös selkeyttämään.

Ympäristövaikutuslaskelmia varten tarkasteltava tieosuus jaettiin toteutettavien rakennetyyppien mukaisiin tarkasteluosuuksiin ja ympäristökuormituslaskelmat tehtiin erikseen joka rakennetyypille. Mikäli eri rakennevaihtoehto ja haluttiin verrata keskenään tietyn tarkasteluosuuden sisällä, tehtiin vertailu yhteenvertotaulukon vertailulomakkeella. Kun kullekin tarkasteluosuudelle oli valittu haluttu rakennevaihtoehto, koottiin kaikkien tarkasteluosuuksien tulokset (ympäristökuormitustiedot) yhteenvertotaulukon tulostelomakkeelle, josta saatiin päällysrakenteen kokonaisympäristökuormitukset.

Pohjarakenteiden ympäristökuormitukset laskettiin omalla lomakkeellaan ja siirrettiin yhteenvertotaulukon tulostelomakkeelle. Tarjouksessa pyydettiin ilmoittamaan koko hankkeen (päällys- ja pohjarakenteet) yhteenlasketut ympäristökuormitukset.

Eri tarjousten vertailu tehtiin tilaajan toimesta. Eri tarjouksissa ilmoitetut koko hankkeen ympäristökuormitustiedot siirrettiin Meli -vertailuohjelmaan. Ympäristökuormitukset muutettiin suhteellisiksi ympäristölaatuasteiksi, mikä tarkoittaa ympäristökuormitusten keskinäistä painottamista niiden haitallisuuden mukaan. Painokertoimina käytettiin Meli -ohjelman sisältämiä kertoimia. Vertailu tehtiin eri tarjousten suhteellisten ympäristölaatuasteiden kesken (kuva L2.5).



Kuva L2.5 Esimerkki tarjousten vertailusta. Tarjousten suhteelliset ympäristölaatuasteet.

LISÄAJOKUSTANNUKSEN LASKENTA

Mt307 Valkeakoski

Hanke jaettiin toimenpidetyypin ja työmenetelmän mukaan osuuksiin ilmaistuna paaluvälein. Joka osuudelle valittiin taulukosta valittuun työmenetelmään perustuen HIPS järjestelmän mukainen toimenpideluokka.

TP	TOIMENPIDELUOKKA	TYÖMENETELMÄT
0	Rutiinikunnossapito	
1	Urapaikkaus	
2	Pintaukset	REM, REM+, ART
3	Ohut uudelleen päällystys	MP, TAS+LTA, MPKJ
4	Paksu uudelleen päällystys	MP, TAS+LTA, MPKJ
5	Stabilointi + päällystys	
6	Kevyt rakenteen parantaminen	
7	Raskas rakenteen parantaminen	

REM	Remix-pinta
REM+	2-kerroksinen Remix-pinta
MPKJ	massapinta kuumalle, kuumajärsitylle alustalle
MP	massapinta
MPK	kuumennuspinta
LTA	paksuudeltaan vakio laatta tasatulle alustalle

Kohteen liikennemäärätietojen perusteella valittiin liikennemääräluokka.

Moottoritiet	KVL > 6000	KVL 6000-1501	KVL 1500-351	KVL < 350
KVL0	KVL1	KVL2	KVL3	KVL4

Sitten arvioitiin toimenpiteiden kesto aika osuiksittain ilmaistuna vuorokausien määrässä. Osuiksien lähtötiedot ilmoitettiin paaluväleittäin esimerkkitaulukon mukaisesti.

LÄHTÖTIE TOJEN ESIMERKKITAU LUUKKO					
Paaluväli	TP-luokka	Vrk	KVL-luokka	KVL-kevyt	KVL-raskas
0 - 1800	4	2	KVL2	2100	100
1800 - 5000	5	50	KVL2	2100	100
5000 - 6000	6	90	KVL2	2100	100
...

Lisäajonkustannus laskettiin kaavalla:

$$LAK = L \cdot T \cdot (KVL_k \cdot H_k + KVL_r \cdot H_r)$$

LAK	= lisäajokustannus [€]
L	= osuuden pituus [km]
T	= toimenpide aika [vrk]
KVL _k	= KVL_kevyt [ajon]
KVL _r	= KVL_raskas [ajon]
H _k	= yksikköhinta_kevyt ajoneuvo [snt/ajon.km.vrk]
H _r	= yksikköhinta_raskas ajoneuvo [snt/ajon.km.vrk]

Kaavassa tarvittavat kevyiden- ja raskaiden ajoneuvojen yksikköhinnat valittiin taulukosta.

TOIMENPITEIDEN AIHEUTTAMAT AJOKUSTANNUSLISÄT (snt/ajon.km.vrk)										
TP	KESTOPÄÄLLYSTETIET									
	Kevyet ajoneuvot					Raskaat ajoneuvot				
	KVL0	KVL1	KVL2	KVL3	KVL4	KVL0	KVL1	KVL2	KVL3	KVL4
0	0	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
1	3,3	33,3	18,3	18,3	0,0	21,7	120,0	75,0	70,0	0,0
2	3,3	33,3	18,3	18,3	0,0	21,7	120,0	75,0	70,0	0,0
3	3,3	33,3	18,3	18,3	0,0	21,7	120,0	75,0	70,0	0,0
4	3,3	33,3	18,3	18,3	0,0	21,7	120,0	75,0	70,0	0,0
5	-	2,4	1,9	1,9	1,1	-	9,3	7,6	7,3	4,4
6	-	4,5	3,9	3,9	3,4	-	16,5	15,0	15,0	12,6
7	-	4,2	3,8	3,8	3,3	-	15,7	14,5	14,5	12,5

Lopuksi summattiin eri osuuksien lisäajokustannukset koko hankkeen aiheuttamaksi lisäajokustannukseksi (kts. alla). Lisäajokustannusta käsiteltiin osana hankkeesta syntyntä investointikustannusta.

$$X_{liik} = \sum_{osuu\ det} LAK$$

LASKENTAESIMERKKI:

Paaluväli	TP-luokka	Vrk	KVL-luokka	KVL-kevyt	KVL-raskas
0 - 1800	4	2	KVL2	2100	100
1800 - 5000	5	50	KVL2	2100	100
5000 - 6000	6	90	KVL2	2100	100

Paaluväli 1-1800 :

$$LAK = 1,8 \times 2 \times (2100 \times 18,3 + 100 \times 75,0) / 100 = 1653 \text{ €}$$

Paaluväli 1800-5000 :

$$LAK = 3,2 \times 50 \times (2100 \times 1,9 + 100 \times 7,6) / 100 = 7600 \text{ €}$$

Paaluväli 5000-6000 :

$$LAK = 1 \times 90 \times (2100 \times 3,9 + 100 \times 15,0) / 100 = 8721 \text{ €}$$

Kokonaislisäajokustannus :

$$LAK = 1653 + 7600 + 8721 = 17974 \text{ €}$$

VT9 Turku - Liedon asema

Työmaanaikaiset liikenteelle aiheutuvat haittakustannukset arvioitiin hyödyntäen kaistanvuokrausperiaatetta. Kaistavuokra määritettiin päivittäin kaikille työmaille, jotka aiheuttavat liikenteelle häiriötä. Kaistanvuokran suuruuteen vaikuttivat työmaan kesto aika ruuhka-aikoina, häiriön pituus metreinä sekä liikenteenohjaustapa työmaalla. Urakoitsijan tuli esittää liikenteen haittavaikutukset tarjouspyynnön mukana olevassa Excel-muotoisessa taulukossa sekä taulukko paperitulosteena. Excel-taulukko sisälsi esimerkkilaskennan.

Työmaat jaettiin kahteen ryhmään pituuden perusteella:

- lyhyt työmaa, jonka pituus ≤ 500 metriä
- pitkä työmaa, jonka pituus > 500 metriä.

Pitkän työmaan maksimipituus voi olla enintään 3 km. Työmaan pituus vaikutti vuorokauden kaistanvuokran yksikköhintaan seuraavasti:

- lyhyelle työmaalle 500 € / ruuhka-aika
- pitkälle työmaalle 750 € / ruuhka-aika.

Ruuhka-ajaksi laskettiin arkipäivinä seuraavat ajat :

- aamuruuhka 7:00 - 9:00
- iltapäiväruuhka 15:00 - 17:00

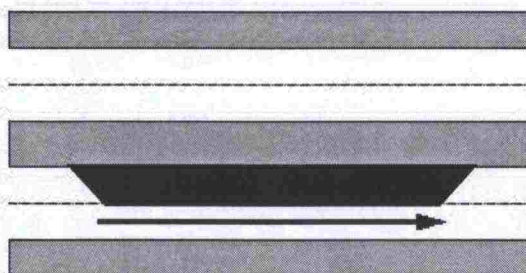
Valtatiellä oli oltava koko työn ajan yleisen liikenteen käytössä vähintään yksi ajokaista suuntaansa. Kaistan sulkemiset määriteltiin ajosuunnittain erikseen. Ajokaistaksi katsottiin myös valtatieltä erkanevien ja sille liittyvien ramppien erkanemis- ja liittymiskaistat.

Urakoitsija on rakennusaikana velvollinen pitämään ajan tasalla työmaapöytäkirjassaan luetteloa kaikista ajokaistojen sulkemiskerroista. Luettelo luovutetaan tilaajalle työmaakokouksissa. Luettelosta tulee käydä ilmi ainakin seuraavat asiat:

- päivämäärä ja kellonaika
- sulkemisen syy
- toteutuneet ruuhka- ajan sulkemiskerrat yhteensä/ tarjoukseen sisältyvät

Mikäli tarjouksessa esitetty kaistanvuokrausmäärien kokonaislukumäärä ylittyy, peritään kultakin lisäkerralta ylläesitetyn yksikköhinnan mukainen sanktio. Enimmäissanktio on kuitenkin 50 000 €. Raportoinnin laiminlyönnistä tai tosiasioita vastaamattomien tietojen antamisesta määrätään sakko, jonka suuruus on kaksi kertaa kaistanvuokran kertahinta. Liikenteen järjestelytapa työmaalla vaikutti yksikköhintojen lukumäärään. Alla on esitetty kolme vaihtoehtoa liikenteen järjestelylle työmaalla.

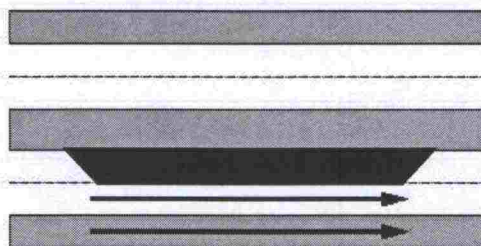
Vaihtoehto 1.



Suunta 1: Ajouradalla on työmaa, jonka ansiosta yksi kaista on pois käytöstä ja liikenne on ohjattu yhdelle kaistalle.

Suunta 2: Ei työmaata eikä häiriöitä liikenteelle.

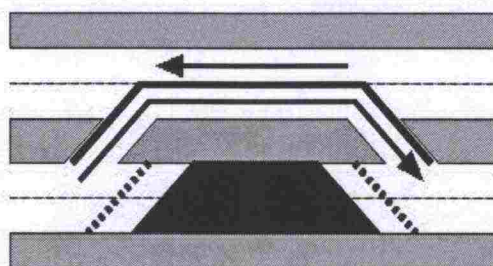
Vaihtoehto 2.



Suunta 1: Ajouradalla on työmaa, jonka ansiosta yksi kaista on pois käytöstä ja liikenne on ohjattu kahdelle kavennetulle kaistalle.

Suunta 2: Ei työmaata eikä häiriöitä liikenteelle.

Vaihtoehto 3.



Suunta 1: Ajouradalla on työmaa, jonka ansiosta molemmat kaistat ovat pois käytöstä. Liikenne on ohjattu yhtä kaistaa pitkin vastaantulevalle ajoradalle.

Suunta 2: Ei työmaata ajoradalla, mutta yksi kaista on pois käytöstä vastaantulevan liikenteen johdosta ja liikenne on siksi ohjattu yhdelle kaistalle.

ISSN 1457-9871
ISBN 951-803-463-X
TIEH 3200925